

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра галузевого машинобудування

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Модернізація установки для дослідження механічних властивостей  
матеріалів

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ГМ-20м

зі спеціальності 133

Галузеве машинобудування

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Заєць Є.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ГМ

Слабкий А.В.

(прізвище та ініціали)

Опонент: к.т.н., доцент кафедри ГМ

Кужель В.П.

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2021 р

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань – 13 Механічна інженерія

Спеціальність – 133 – Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма – Галузеве машинобудування

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ГМ**

**Поліщук Л.К.**

“   ”     2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
*Зайцю Євгенію Сергійовичу*

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Модернізація установки для дослідження механічних властивостей матеріалів».

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи: к.т.н. доц. Слабкий Андрій Валентинович, затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” вересня 2021 року №277

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи: 14.12. 2021р.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: 1) Граничне навантаження створюване машиною, кН – 200; 2) Число діапазонів навантажень – 2; 3) Діапазони вимірювань, кН – 4...20 та 20...200; 4) Швидкість руху активного захвату без навантаження, мм/хв – 5...200; 5) Найбільша відстань між захватами, включно з робочим ходом поршня, мм – 900; 6) Найбільший хід активного захвату (поршня), мм – 300; 7) Відстань від осі зразка до колони, мм – 252; 8) Потужність, що споживається машиною, кВт – 2,61.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1) вступ; 2) - теоретичний аналіз існуючих автоматичних систем керування, вимірювання та реєстрації, що використовуються під час модернізації установок для дослідження механічних властивостей матеріалів; 3) висновки з аналізу та постановка задачі проектування; 4) розрахунок автоматизованої системи, обґрунтування вибору комплектуючих; 5) розробка програмного забезпечення для функціонування модернізованої установки для дослідження механічних властивостей матеріалів 6) аналіз умов праці та розробка заходів безпеки життєдіяльності, зокрема заходів віброзахисту під час роботи установки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):

1) Огляд існуючих автоматичних систем керування, вимірювання та реєстрації, що використовуються під час модернізації установок для дослідження механічних властивостей матеріалів; 2) Гідрокінематична схема розривної машини Р-20; 4) Принципова конструктивна схема автоматизованого керування розривною машиною; 5) Складальні кресленики стабілізатора тиску, регулятора швидкості; 6) Алгоритм Функції StopTesting ; 7) Алгоритм функції Settings; 8) Алгоритм функції Loop; 9) Алгоритм функції EncoderTick; 10) Алгоритм функції Connecting.

## 6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.т.н., доц. Слабкий А.В.		
Охорона праці	к.т.н., доц. Віштак І.В.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доц. Поліщук О.В.		

7. Дата видачі завдання 24.09.2021 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Вступ	10.10.2021р	
2	Теоретичний аналіз конструкції сучасних екскаваторів та їх робочих органів	15.10.2021р	
3	Розробка конструкції робочого органу екскаватора для виконання планувальних робіт	2.11.2021р	
4	Технологічні розрахунки	9.11.2021р	
6	Конструкторські розрахунки	19.11.2021р	
7	Економічний аудит розробки	22.11.2021р	
8	Розрахунок кількості коштів на впровадження розробки, та строку їх окупності	24.11.2021р	
9	Аналіз умов праці при використанні робочого органу екскаватора для виконання планувальних робіт	26.11.2021р	
10	Розробка заходів безпеки життєдіяльності та надзвичайних ситуаціях	28.11.2021р	
11	Підготовка графічної частини МКР	4.12.2021р	
12	Попередній захист на кафедрі	14.12.2021р	

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)      Заєць Є.С. (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ (підпис)      Слабкий А.В. (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 625.08.(075.8)

Заєць Є.С. Модернізація установки для досліджень механічних властивостей матеріалів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування, освітня програма – галузеве машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2021. 72 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 25; табл. 11.

В магістерській кваліфікаційній роботі визначено тенденції модернізації установки для досліджень механічних властивостей матеріалів, ґрунтуючись на яких розроблено нову конструкцію керуючого органу розривної машини з покращеними техніко-економічними показниками.

В конструкторській частині розроблена нова конструкція керуючого органу розривної машини для здійснення досліджень механічних властивостей зразків. В роботі представлено складальні та робочі креслення, лістинг програми і відповідні розрахунки.

Ключові слова: модернізація, система, мікроконтролер, давач, тиск, деформація, розривна машина.

## ABSTRACT

Zaiets E. S. Modernization of installations for mechanical properties of materials. Master's qualification work in the specialty 133 - branch mechanical engineering, educational program - branch mechanical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2021. 72 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : 28 titles; fig. : 25; table 11.

The master's qualification work identifies trends in the modernization of installations for the study of mechanical properties of materials, justifying them, which developed a new design of the control body of the blasting machine with improved technical and economic performance.

A new construction machine has been formed in the design part to study the mechanical properties of samples. The paper presents assembly and working drawings, listing programs and relevant calculations.

Key words: modernization, system, microcontroller, sensor, pressure, deformation, bursting machine.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОДЕРНІЗАЦІЇ МАШИН ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ .....	7
1.1 Модернізація дослідних установок науково-дослідним і дослідно-конструкторським інститутом автоматизації чорної металургії.....	7
1.2 Аналіз модернізації, що виконується ТОВ виробничо-технічне підприємство АСМА-ПРИЛАД.....	9
2 ЗАСОБИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ.....	13
2.1 Поняття тиску .....	13
2.2 Вибір давача тиску .....	14
3 ДЕФОРМАЦІЯ ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ.....	31
3.1 Поняття деформації та її види .....	31
3.2 Методи вимірювання лінійних деформацій .....	33
3.2.1 Цифрові лінійки.....	33
4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ВИКОНАЧОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ.....	39
4.1 Мікроконтролер.....	39
4.2 Давачі.....	40
4.3 Елемент виконавчого механізму .....	46
4.4 Блок живлення.....	49
4.5 Пристрої вводу та виводу.....	50
5 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТУ .....	52
6 ТЕСТУВАННЯ ВИБРАНИХ КОМПОНЕНТІВ .....	57
6.1 Підключення давача тиску .....	57
6.2 Підключення крокового двигуна через драйвер.....	59
6.3 Підключення дисплею та енкодера.....	61
6.4 Підключення модуля SharpIr .....	65
7 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.1 Аналіз умов праці.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

7.2.1 Мікроклімат .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.2.2 Виробниче освітлення .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.2.3 Виробничий шум.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.2.4 Виробничі вібрації .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.3 Пожежна безпека.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.4 Техніка безпеки .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
7.5 Висновки .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85
ДОДАТКИ .....	88
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	89
Додаток Б_АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ .....	95
Додаток В (обов'язковий)_ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА .....	97
ЗРАЗКИ ЯКІ МОДЕРНІЗУЮТЬСЯ ІНШИМИ УСТАНОВАМИ.....	97
Додаток Г_Лістинг програми мікроконтролера .....	100

## ВСТУП

Дослідження механічних властивостей матеріалів та конструкцій є невід'ємною частиною інженерної діяльності. Поява нових вимог до конструкцій вимагає уточнення знань про матеріали та їх властивості, адже це дає можливість конструкторам зменшувати коефіцієнти запасу міцності, що підвищує техніко-економічні показники техніки загалом. Розширення знань про конструктивні матеріали забезпечує максимальну реалізацію їх потенціалів. Тому створення сучасних та удосконалення існуючих дослідних машин для дослідження матеріалів є актуальною науковою та інженерними задачами.

**Метою магістерської кваліфікаційної роботи** (далі МКР) – модернізувати установку для дослідження механічних властивостей типу P20 із забезпеченням підвищення точності досліджень шляхом розробки системи вимірювання та керування за допомогою числового програмного керування.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- Виконати теоретичний аналіз машин для дослідження механічних властивостей матеріалів та їх систем вимірювання; проаналізувати існуючі автоматичні системи;
- Проаналізувати найбільш оптимальні шляхи модернізації існуючих установок та підібрати найбільш раціональну систему вимірювання, наприкладі розривної машини моделі P20;
- Розробити принципову конструктивну схему системи вимірювання та керування для модернізації розривної машини P20;
- Обрунтувати вибір компонентів розробленої системи;
- Розробити алгоритм програми для розробленої вимірювально-реєструючої-керувальної системи;



– Розробити заходи з охорони праці по використанню розробленої для модернізованої установки для дослідження механічних властивостей матеріалів.

**Об’єкт дослідження** – процеси, що використовуються для визначення та аналізу найбільш раціональної схеми вимірювально-реєструючої-керувальної системи установки для дослідження механічних властивостей матеріалів.

**Предмет дослідження** – установка для дослідження механічних властивостей типу P20

**Методи дослідження** – методи логічного моделювання раціоналізації та оптимізації автоматизації дослідного комплексу

**Практична цінність роботи** – розроблена вимірювально-реєструюча-керувальна система установки для дослідження механічних властивостей матеріалів реалізовано як діючий натурний зразок на базі розривної машини P20 на факультеті машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету.

**Публікації.** Основні матеріали МКР доповідались на наукових семінарах кафедри Галузевого машинобудування (ГМ) ВНТУ, на щорічній НТК ВНТУ та опубліковані тези на всеукраїнській науково-практичній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи 2022».

## І ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОДЕРНІЗАЦІЇ МАШИН ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

Для повного аналізу та розробки системи модернізації установки для дослідження механічних властивостей матеріалів розглянемо існуючі системи.

### 1.1 Модернізація дослідних установок науково-дослідним і дослідно-конструкторським інститутом автоматизації чорної металургії

Першим досліджуваним зразком буде система розроблена АТ "НДІАЧОРМЕТ" [7]. Ключовим вузлом системи, за словами розробників є автоматичний безконтактний оптоелектронний екстензометр, який вимірює деформацію зразка без припинення випробувань та додаткових маніпуляцій.

Серед функцій системи виділяють:

- автоматичне введення в комп'ютер даних каналами зусилля та деформації на розрахунковій довжині протягом всього часу навантаження зразка;

- побудова діаграми розтягування на екрані дисплея в масштабі від 10:1 до 500:1 та її друк у різних одиницях вимірювання як по каналу подовження (мм або %), так і по каналу зусилля (МПа, кгс/см<sup>2</sup>, N/mm<sup>2</sup>, кгс/мм<sup>2</sup> psi або kpsi);

- роздруківку протоколів випробувань та діаграм розтягування;

- ведення електронного журналу випробувань, видачу інформації про результати випробувань та відповідні їм діаграми розтягування за необхідними вихідними даними (марка сталі, профілю, номер плавки, дати та ін.);

– довгострокове зберігання в дисковій пам'яті комп'ютера параметрів та розрахованих механічних характеристик випробуваних зразків, протоколів випробувань та діаграм розтягування.

Загальний вигляд розривної машини з модернізованою системою керування процесом зображено на рис. 1.1.1.



Рисунок 1.1.1 – Загальний вигляд розривної машини з модернізованою системою керування процесом

Система придатна як для відповідальних (наприклад, сертифікаційних) випробувань, так і масових випробувань, з обсягом у сотні зразків за зміну. Для проведення масових випробувань з визначенням деформація може визначатися переміщення траверси з використанням спеціальних пристроїв. Оптоекстензометр може бути виконаний у варіанті для випробувань при підвищеній або зниженій температурі.

Як зазначено на сайті інституту комплект поставки включає в себе:

– датчик подовження (екстензометр) у складі оптоелектронного перетворювача та пристроїв для встановлення випромінювачів на зразки різної форми (круглі, прямокутні, плоскі) з різними розрахунковими довжинами (базами);

– блок сполучення, в який входять пристрій сполучення комп'ютера з датчиком подовження і пристрій сполучення комп'ютера з датчиком зусилля з електричним виходом (плата масштабування і виведення інформації), що є на розривній машині;

– комп'ютер, принтер та відеоконтрольний пристрій ;

– спеціальне програмне забезпечення ;

– технічний опис та посібник користувача.

Отже, головною перевагою даної системи є використання оптоекстензометра, власної розробки інституту, що забезпечує точність вимірювання деформації різних форм.

## 1.2 Аналіз модернізації, що виконується ТОВ виробничо-технічне підприємство АСМА-ПРИЛАД

Підприємство надає можливість модернізації не тільки гідравлічних установок для дослідження механічних властивостей матеріалів. Серед пропозицій є кілька варіантів модернізації існуючих розривних машин. [6]

Найпростіший із запропонованих передбачає встановлення електричного силовимірювача замість механічного.

Перший варіант повної модернізації пропонує встановлення лише електронного реєстратора без внесення змін в гідравлічну систему та її блок керування. Даний варіант може включати в себе:

— Керуючий блок із спеціальним програмним забезпеченням;

- Давач сили (один або два);
- Давач переміщення;
- Екстензометр на вимогу замовника;
- персональний комп'ютер (ПК);
- Принтер;
- Стіл під ПК.

Цей варіант дозволяє проводити всі виміри. Управління швидкістю навантаження здійснюється у штатному режимі.

Наступний варіант передбачає втручання в заводську систему керування процесом. Він припускає можливість автоматичного регулювання та підтримки швидкості навантаження. Для цього на гідравлічних розривних машинах проводиться заміна масляної станції та шафи управління. Комплект включає в себе:

- Масляна станція із серворегулятором;
- Шафа управління;
- Електронний реєстратор;
- Керуючий блок зі спеціальним програмним забезпеченням;
- Давач сили (один або два);
- Давач переміщення;
- Екстензометр на вимогу замовника ;
- персональний комп'ютер (ПК);
- Принтер;
- Стіл для ПК.

Загальний вигляд модернізованої розривної машини зображено на рис. 1.2.1



Рисунок 1.2.1 – Загальний вигляд модернізованої розривної машини з гідравлічним приводом

Із переліку елементів, які компанія постачає при модернізації системи можна виділити наступні:

- Блок живлення 5в, 25 Вт;
- Давачі тиску компанії BD Sensors з діапазонами 0... 20 Bar та 0... 200 Bar.

Отже, компанія пропонує кілька варіантів модернізації установки для дослідження механічних властивостей матеріалів та, на відмінну від попередньої, надає доступ до переліку елементів поставки, що дає нам розуміння компонентів, які вона використовує.

Отже, ми проаналізували наявні на ринку системи та устаткування для модернізації установки для дослідження механічних властивостей матеріалів, та отримали розуміння основних шляхів модернізації та компонентів, які в них використовуються.

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

## 2 ЗАСОБИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

### 2.1 Поняття тиску

Тиск— фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, що діє на одиницю площі поверхні тіла та діє за напрямом зовнішньої нормалі до цієї поверхні.

Тиск позначається малою латинською літерою  $p$ . За означенням

$$p = \frac{F_n}{S} \quad (2.1.1)$$

де  $S$  — площа поверхні, на яку діє сила, а  $F_n$  — складова цієї сили, нормальна (перпендикулярна) до поверхні.

Абсолютний тиск, ( $p_{\text{абс}}$ ) — це тиск, для вимірювання якого за початок відліку беруть тиск, що дорівнює нулю (теоретично — від абсолютного вакууму). За початок відліку абсолютного тиску у земних умовах приймають тиск усередині посудини, з якої повністю видалене повітря. Тільки абсолютний тиск є параметром стану термодинамічної системи і тільки абсолютний тиск в Па використовують у всіх формулах в термодинаміці. Визначається абсолютний тиск як сума барометричного та манометричного тисків, або як різниця — барометричного та вакууметричного тисків.

Надлишковий тиск ( $p$ ) — різниця між абсолютним і тиском навколишнього середовища, найчастіше — барометричним (атмосферним) тиском. Вимірюють манометрами. Розрідження — тиск в системі, менший за атмосферний. Вимірюють вакууметрами.



## 2.2 Вибір давача тиску

Існують різні типи давачів тиску, які сьогодні доступні на ринку для використання у промисловості. Кожен із них має переваги у певних ситуаціях.

Для того щоб контрольована тиском система працювала правильно і ефективно, важливо, щоб давач тиску міг давати точні показання в міру необхідності і протягом тривалого періоду часу без необхідності ремонту або заміни в умовах роботи системи. Існує кілька факторів, що впливають на придатність конкретного давача тиску конкретного процесу. Основні це:

- характеристики використовуваних речовин серед яких буде використовуватися пристрій;
- умови навколишнього середовища;
- діапазон тисків;
- рівень точності та чутливості, необхідні в процесі вимірювання.

Чутливий елемент (пружний елемент) піддаватиметься впливу речовин, що використовуються в процесі, тому матеріали давача, які можуть реагувати з цими речовинами або піддаватися впливу агресивних середовищ – непридатні для використання. Мембрани (діафрагми) є оптимальними навіть для суворих умов використання.

Навколишнє середовище (у технологічному процесі – це середовище, що створюється речовиною, вібрація, температура і т.д.), в якій проводиться технологічний процес, також має бути враховано при виборі давача тиску. В агресивних середовищах, при сильних вібраціях у трубопроводі або при екстремальних температурах давачі повинні мати додатковий рівень захисту. Герметичні, міцні корпуси із заповненням матеріалом, що містить гліцерин або силікон - часто використовуються для того, щоб захистити

внутрішні компоненти давача (крім чутливого елемента) від дуже жорстких, агресивних середовищ і коливань.

Більшість процесів працюють у певному діапазоні тисків. Оскільки певні давачі тиску працюють оптимально у певних діапазонах тиску, є необхідність вибрати пристрої, здатні функціонувати в діапазоні, встановленому процесом.

Різні процеси потребують різних рівнів точності. Загалом, що точніше давач, то він дорожче, таким чином, буде економічно вигідно вибрати давачі, які здатні максимально задовольнити необхідну точність. Існує також компроміс між точністю та здатністю швидко виявляти зміни тиску. Отже, в процесах, в яких тиск сильно варіюється протягом коротких періодів часу - недоцільно використовувати давачі, яким потрібно більше часу, щоб дати точні показання тиску, хоча вони могли б дати більш точні значення.

Існує кілька методів вимірювання тиску, що найчастіше використовуються. Ці методи включають візуальний замір висоти рідини в колоні, метод пружної деформації та електричні методи.

Тиск можна виразити як висоту рідини з відомою густиною в трубці. Можна легко обчислити значення тиску. Ці типи вимірювальних приладів зазвичай називають манометрами. Для вимірювання висоти рідини в колоні може бути використана шкала з одиницями вимірювання відстані, також як і відкалібрована шкала тиску. Зазвичай як рідина у цих колонах використовується вода чи ртуть. Вода використовується, коли ви хочете досягти більш високої чутливості (щільність води значно менше, ніж щільність рідкої ртуті, так що висота стовпа води сильніше змінюватиметься при зміні тиску). Ртуть використовується, коли ви хочете вимірювати вищі значення тиску, але з меншою чутливістю.

Цей метод вимірювання тиску заснований на принципі, який говорить, що ступінь деформації пружного матеріалу прямо пропорційна тиску, що

прикладається. Для цього методу в основному використовуються три типи давачів : трубки Бурдона, діафрагми та сильфони.

Електричні методи, що використовуються для вимірювання тиску, засновані на принципі, що ґрунтується на тому, що зміна розміру впливає на електричний опір провідника. Пристрої, що використовують для вимірювання тиску, зміна опору називають тензодавачами. Також існують інші електричні давачі, наприклад ємнісні, індуктивні, магнетоопір (Холла), потенціометричні, п'єзометричні і п'єзорезистивні перетворювачі.

Існує безліч різних давачів тиску, що є найбільш підходящими для конкретного процесу, але їх зазвичай можна розділити на кілька категорій, а саме: пружні давачі, електричні перетворювачі, давачі диференціального тиску та давачі тиску вакууму. Нижче представлені категорії, кожна з яких містить унікальні внутрішні компоненти, що більш підходять під використання в конкретній ситуації.

Більшість давачів тиску рідини мають пружну структуру, де рідина укладена у невеликий відсік щонайменше з однією пружною стінкою. При використанні даного методу показання тиску визначаються шляхом вимірювання відхилення цієї еластичної стінки, представляючи результат безпосереднім відліком через відповідні зв'язки, або через електричні сигнали. Пружні давачі тиску дуже чутливі, вони досить тендітні і схильні до вібрації. Крім того, вони, як правило, значно дорожчі, ніж манометри, і тому в основному використовуються для передачі вимірюваних даних та вимірювання різниці тисків. Теоретично можна використовувати досить широкий спектр пружних елементів пружних давачів тиску. Однак більшість пристроїв використовують ту чи іншу форму трубки Бурдона або діафрагми.

Принцип, на якому засновані різного виду трубки Бурдона: Тиск, що подається всередину трубки, викликає пружну деформацію еліптичного або

овального перерізу трубки у бік кола, яка викликає появу напруги в поздовжньому напрямку, що змушують трубку розгинатися, а вільний кінець трубки переміщатися. Система важелів та передач перетворює цей рух та повертає стрілку, що показує тиск щодо круглої шкали. Діапазон вимірювання такого манометра становить – від 10 Па до 1000 МПа. Трубні матеріали можуть бути змінені відповідним чином відповідно до необхідної умови процесу. Також, трубки Бурдона - портативні та вимагають мінімального технічного обслуговування, однак вони можуть бути використані тільки для статичних вимірювань і мають низьку точність.

Матеріалом для трубчастих пружин може бути сталь, бронза, латунь. Залежно від конструктивного виконання трубчасті пружини можуть бути одно- та багатовиткові (гвинтові та спіральні), S-подібні тощо. Поширені одновиткові трубчасті пружини, що використовуються в манометрах, які призначені для вимірювання тиску рідин та газів, а також таких типів манометрів як глибиномір. Давачі С-типу можуть бути використані в діапазонах тисків, що наближаються до 700 МПа; вони мають мінімальний рекомендований діапазон тиску - 30 кПа (тобто вони недостатньо чутливі для вимірювання різниці тисків менше ніж 30 кПа).

Сильфони мають циліндричну форму та містять багато складок. Вони можуть деформуватися в осьовому напрямку при зміні тиску (стиснення або розширення). Тиск, який повинен бути виміряний, прикладається до однієї сторони сильфона (всередині або зовні), тоді як на протилежну сторону діє атмосферний тиск. Абсолютний тиск може бути виміряний шляхом відкачування повітря із зовнішнього або внутрішнього простору сильфона, а потім вимірюванням тиску на протилежному боці. Сильфон може бути підключений тільки до перемикачів, що включають / вимикають, або до

потенціометра і використовується при низьких тисках, <200 Па з чутливістю 1,2 Па.

Мембрани виготовлені з круглих металевих дисків чи гнучких елементів, таких як гума, пластик чи шкіра. Матеріал, з якого виготовлена мембрана залежить від того, чи використовуються властивості пружності цього матеріалу чи йому повинен протистояти інший елемент (наприклад - пружина). Мембрани дуже чутливі до різких змін тиску. Мембраною виготовленої з металу можна виміряти максимальний тиск дорівнює приблизно 7 МПа, а мембраною використовує пружний тип матеріалу можна вимірювати надзвичайно низький тиск (0,1 кПа - 2,2 МПа) при підключенні до ємнісних перетворювачів або давачів перепаду тиску. Діафрагми бувають плоскі, гофровані та капсульного типу. Як зазначалося раніше, мембрани дуже чутливі (0,01 МПа). Вони можуть вимірювати дрібні різниці тиску на дуже маленькому діапазоні (скажімо, тиску кількох дюймів води) (еластичний тип) або великі перепади тиску (наближаючись до максимального діапазону 207 кПа) (металевий тип).

Мембрани дуже універсальні - вони зазвичай використовуються в дуже агресивних середовищах або ситуаціях з екстремальними надлишковими тисками.

Приклади пружних елементів давачів тиску показані нижче на рис. 2.2.1

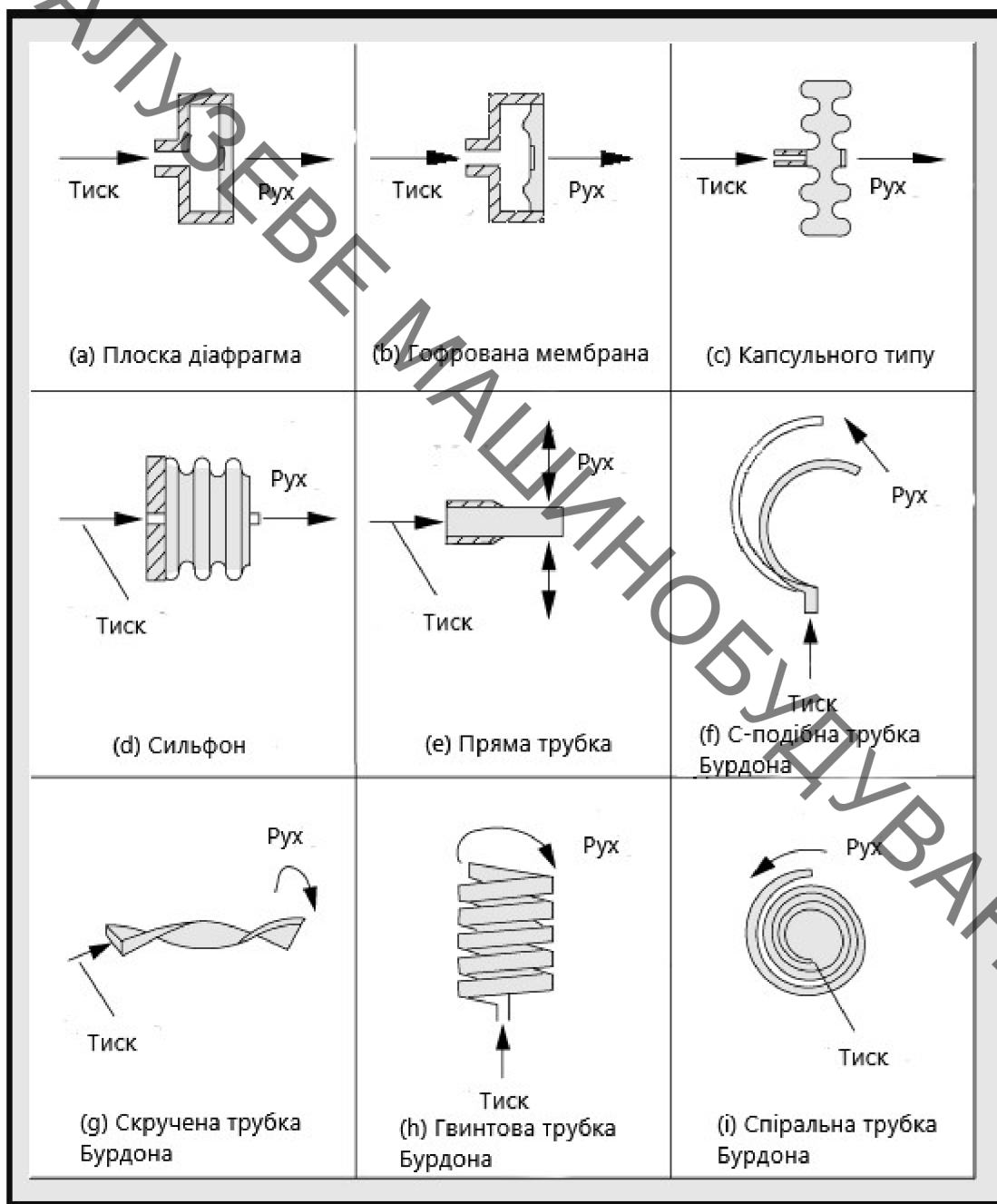


Рисунок 2.2.1 – Приклади пружних елементів давачів тиску

Сьогодні давачі не тільки обов'язково підключаються до стрілочних показників, для відображення тиску, але також можуть служити для перетворення тиску в електричний або пневматичний сигнал, який може бути переданий в диспетчерську, в якій проводиться зчитування та визначення

тиску. Електричні давачі приймають дані отримані механічним впливом від пружного давача і включають електричний компонент, таким чином, посилюючи чутливість і збільшуючи сфери застосування давачів. Існують такі типи давачів тиску: ємнісний, індуктивний, давач магнетоопору (давач Холла), п'єзоелектричний, тензодавач, віброелемент, та потенціометричний тип давача.

Ємнісний давач складається з паралельних пластин - конденсаторів, з'єднаних з діафрагмою, яка зазвичай металева і піддається тиску сил, що беруть участь у процесі з одного боку і опорним тиском на іншій стороні. Електроди прикріплені до мембрани та отримують живлення від генератора високої частоти. Електроди відчують будь-яке переміщення діафрагми, і це впливає на зміну ємності пластин-конденсаторів. Зміна ємності в приєднаному електричному ланцюгу, який виводить напругу відповідно до зміни тиску. Даний тип давача може працювати в діапазоні від 2,5 Па - 70 МПа з чутливістю 0,07 МПа.

Приклад ємнісного давача тиску зображено на рис. 2.2.:

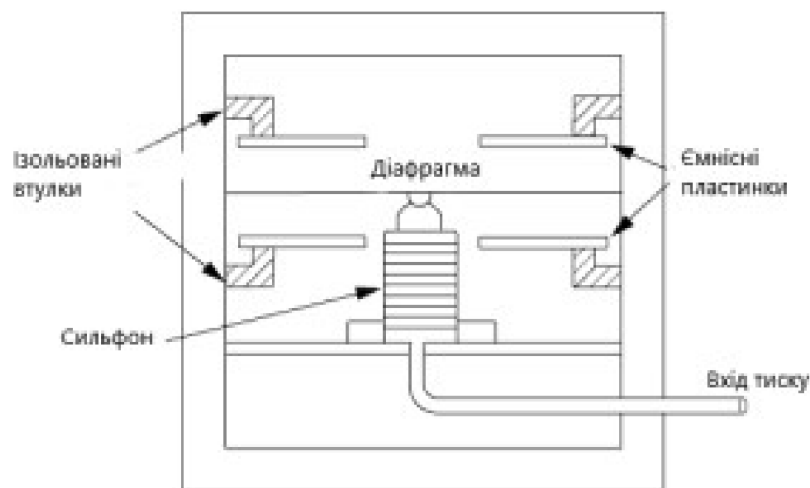


Рисунок 2.2.2 – Ємнісний давач тиску

Індуктивні давачі тиску у поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона. Феромагнітний сердечник прикріплений до пружного елемента і має

первинну та дві вторинні обмотки. Струм подається на первинну обмотку. Коли сердечник по центру та напруга буде індукуватися до двох вторинними обмотками. Коли осердя переміщається під впливом тиску, відношення напруги між двома вторинними обмотками змінюється. Різниця напруги пропорційна зміні тиску.

Нижче наведено приклад індуктивного давача тиску з використанням діафрагми. Для цього виду давача тиску, приймаючи камеру 1 в якості еталонної камери з опорним тиском  $P$  подається 1 і котушку заряджається еталонним струмом. Коли тиск в інших камерах змінюється, діафрагма рухається та індукує струм в іншій котушці, який вимірюється та виражає вимірюване значення струму в одиницях тиску.

Такі давачі можуть бути використані з будь-яким пружним елементом (хоча, як правило, використовуються у поєднанні з діафрагмою або трубкою Бурдона). Читання значення тиску, що буде створюватися, визначатиметься калібруванням напруги. Таким чином, діапазон тиску, в якому може бути використаний цей давач, визначається відносно пружного елемента, але лежить в діапазоні від 250 Па - 70 МПа.

Давачі тиску, засновані на принципі магнетоопору, також мають феромагнітний сердечник. При зміні тиску гнучкий елемент переміщує феромагнітну пластину, що призводить до зміни магнітного потоку ланцюга, яке може бути виміряне. Ситуації, в яких можна було б використовувати електричний елемент, це ситуація, в якій індуктивний давач не генерує досить точне вимірювання. Діапазон тиску для цього методу становить від 250 Па до 70 МПа з чутливістю 0,35 МПа.

П'єзоелектричні давачі використовують давач – кристал. Коли тиск прикладається до кристала, він деформується та створюється невеликий електричний заряд.



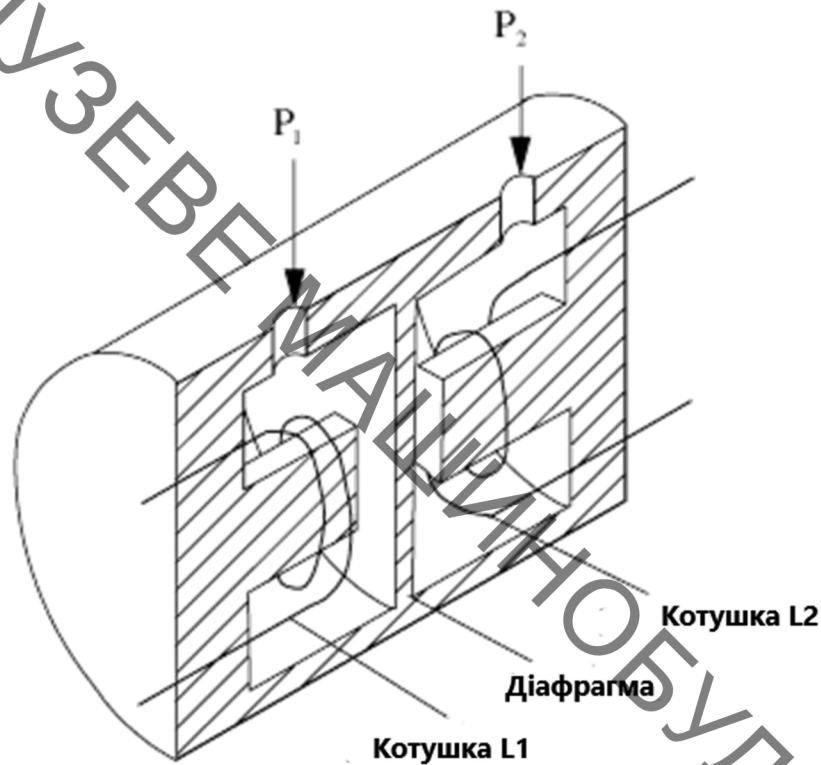


Рисунок 2.2.3 – Індуктивний давач тиску

Вимірювання електричного заряду пропорційне зміні тиску. Цей тип давача має дуже швидкий час відгуку на постійні зміни тиску. Подібно до давача тиску заснованого на принципі вимірювання магнетоопору, п'єзоелектричний елемент дуже чутливий, але реагує набагато швидше. Таким чином, якщо час має суттєве значення, п'єзоелектричний давач буде пріоритетним до використання. Діапазон тиску давачів такого типу становить 0,021 – 100 МПа з чутливістю 0,1 МПа.

Потенціометричні давачі мають важіль, механічно прикріплений до пружного давача тиску. При зміні тиску, деформується пружний елемент, в результаті чого змушує важіль рухатися вперед або назад по потенціометр і таким чином знімаються показання опору. Ці чутливі елементи належать до оптимального робочого діапазону, але обмежені багатьма факторами. Таким

чином вони є давачами нижнього рівня, які не використовуються занадто часто. При низькій чутливості та робочому діапазоні, вони можуть найкраще підійти як дешевий детектор даючи грубу оцінку. Діапазон тиску 0,035 – 70 МПа з чутливістю 0,07 – 0,35 МПа.

Приклад потенціометричного давача тиску показаний нижче на рисунку 2.2.4:

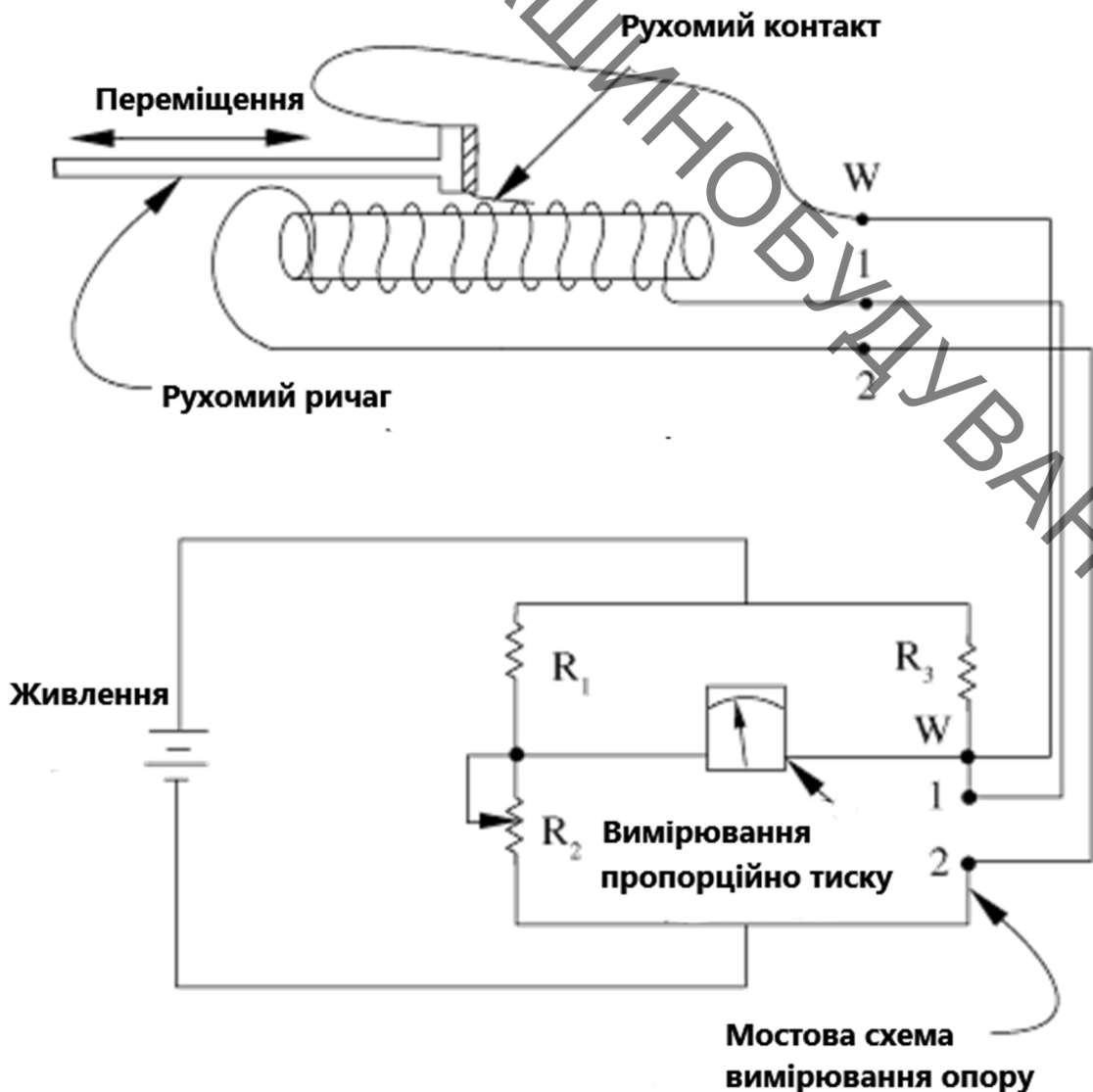


Рисунок 2.2.4 – Потенціометричний давач

Тензометричний датчик виявляє зміни тиску шляхом вимірювання зміни опору мостової схеми Уїтстона. Загалом, ця схема використовується для визначення невідомого електричного опору, врівноважуючи дві секції мостової схеми, так що відношення опорів в одній секції ( $R_3/R_2$ ) було таким же, як і в іншій секції ( $R_4/R_1$ ), повертаючи нуль, в гальванометрі в центральній гілці. Одна з секцій містить невідомий компонент, опір якого має бути визначений, тоді як інша секція містить резистор з відомим опором, який можна регулювати. Схема мосту Уїтстона показана нижче:

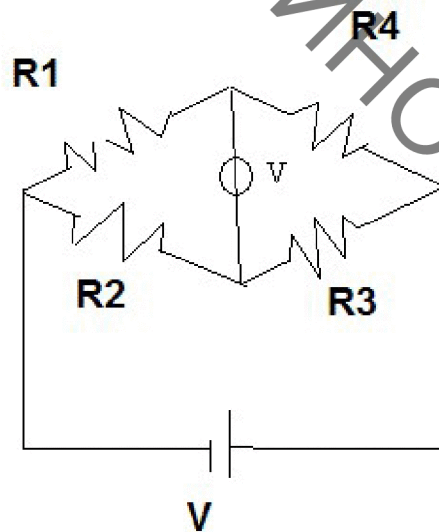


Рисунок 2.2.5 - Схема мосту Уїтстона

Тензодатчик поміщає чутливі елементи кожному з резисторів і вимірює зміну опору кожного резистора під впливом зміни тиску. Опір визначається рівнянням:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2.1)$$

де  $\rho$  = питомий опір провідника,  $L$  = довжина провідника, і  $A$  = площа поперечного перерізу провідника. Зміна тиску або подовжуватиме, або стискатиме провідник, отже, давач стиснення необхідно на одному резисторі, а давач подовження на іншому. Щоб контролювати вплив температури (дріт буде також подовжуватися, або стискатися через зміну температури), вільний давач потрібно розмістити на інших двох резисторах. Ці давачі часто є одним із типів напівпровідника (N-тип або p-тип). Таким чином, чутливість таких давачів значно більша, ніж чутливість їх металевих аналогів, проте з більшою чутливістю приходить вужчий функціональний діапазон: температура повинна залишатися постійною, щоб отримати дійсне значення. Ці давачі сильно залежить від змін температури (на відміну інших типів електричних компонентів). Діапазон тиску 0 – 1400 МПа з чутливістю 1,4 – 3.5 МПа.

Приклад незв'язаного тензодавача показано нижчена рис. 2.2.6. Даний тип давачів використовує чутливі до натягу дроти, один кінець якого закріплений на нерухомій рамі, а інший кінець прикріплений до рухомого елемента, що рухається зі зміною тиску.



Рисунок 2.2.6 – Незв'язаний тензодавач

Приклад пов'язаного тензодавача можна побачити нижче на рис. 2.2.7. Даний тип розміщується у верхній частині діафрагми, яка деформується при зміні тиску, натягує дроти, прикріплені до діафрагми.

Вібраційні давачі тиску функціонують за допомогою вимірювання зміни резонансної частоти елементів, що вібрують. Струм проходить через дроти, індукуючи електрорушійну силу у дроті.

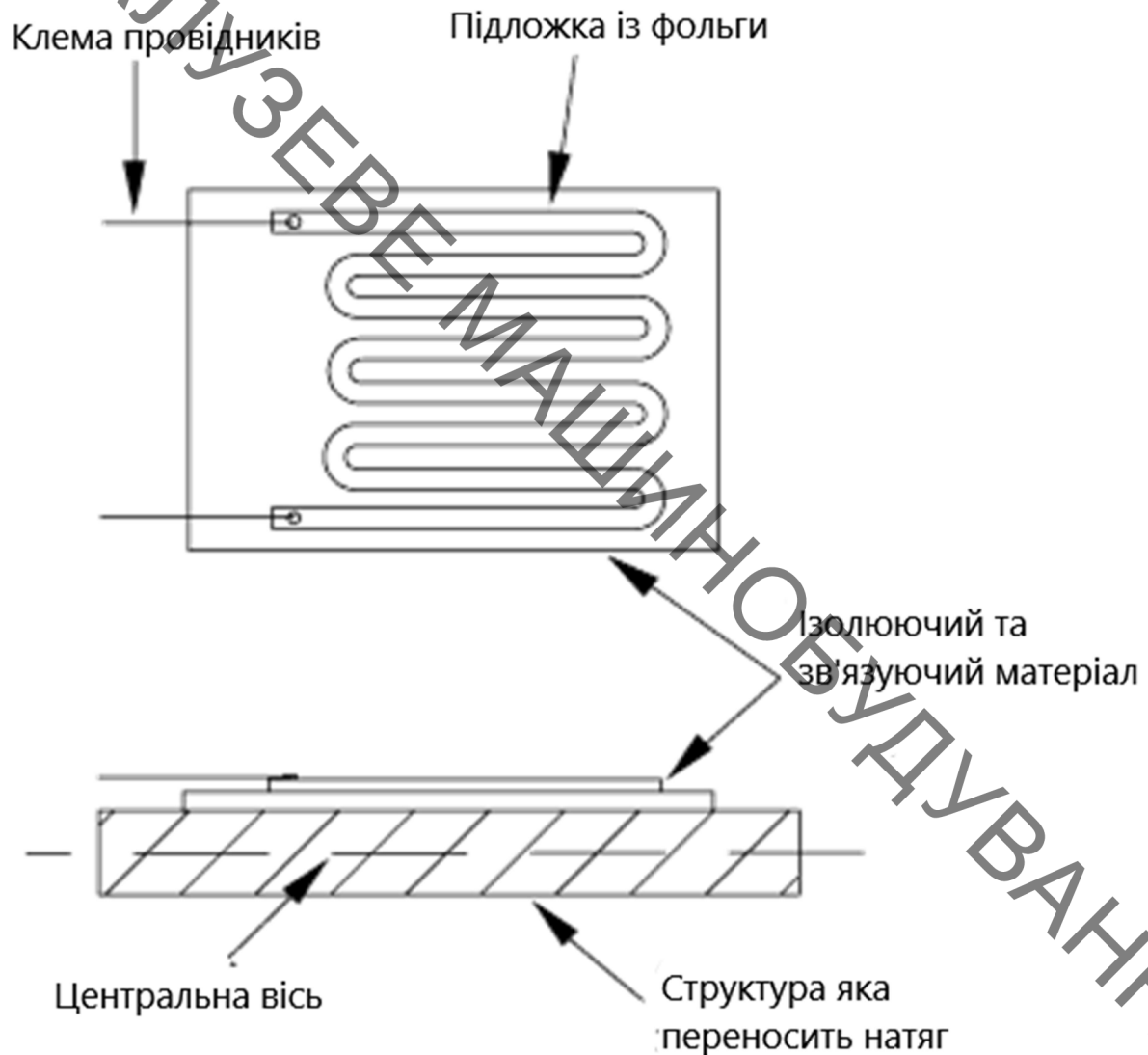


Рисунок 2.2.7 – Пов'язаний тензодавач

Потім зусилля збільшується, що викликає коливання дроту. Тиск впливає на цей механізм за допомогою впливу на сам провід: підвищення тиску зменшує напругу в дроті і, таким чином, знижує кутову частоту коливань дроту. При вимірюванні абсолютних тисків давач розміщений в циліндрі під вакуумом. Ці давачі вимірювання абсолютного тиску є дуже ефективними: вони виробляють повторювані результати і слабо піддаються впливу температури. Їм не вистачає чутливості в процесі вимірювання, проте, таким

чином, вони не дуже підходять для процесу, в якому слід відстежувати короткочасні зміни тиску.

Нижче показаний вібраційний давач тиску:

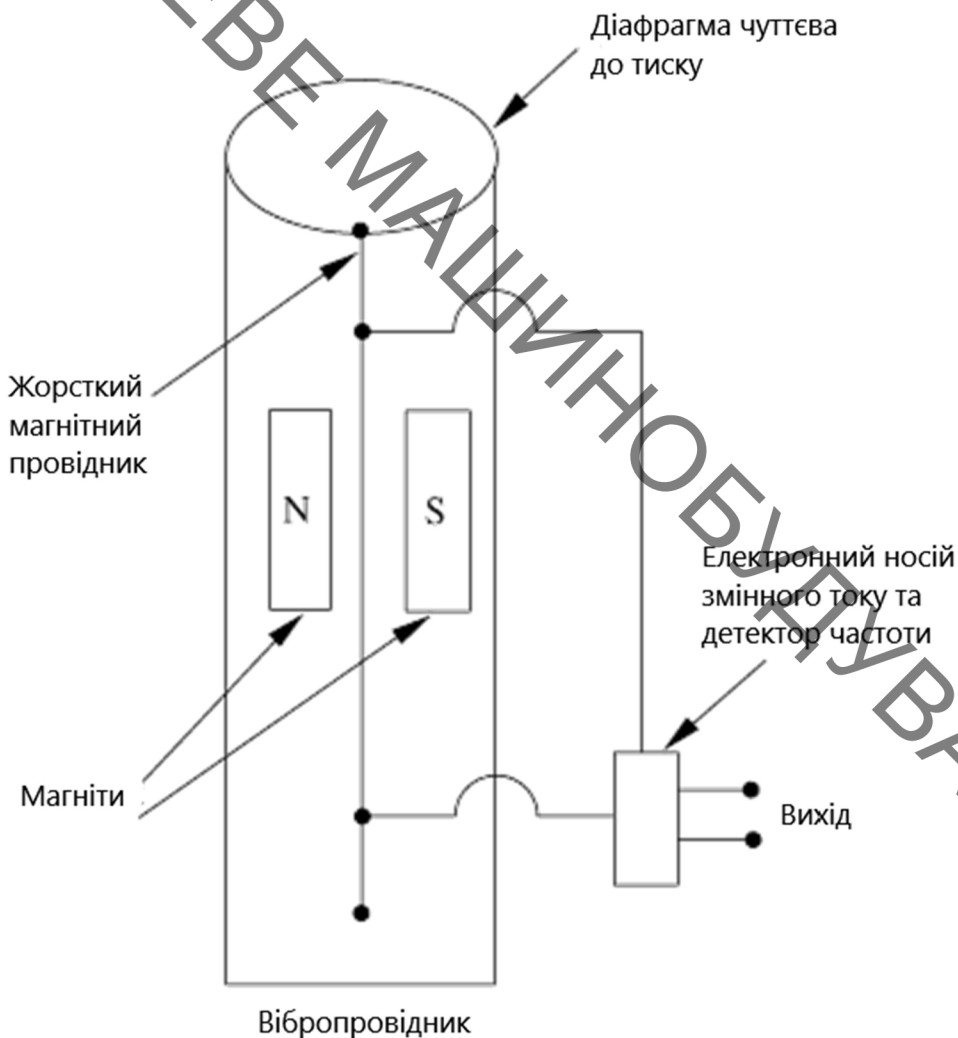


Рисунок 2.2.8 – Вібраційний давач тиску

Давачі диференціального тиску використовуються з різними видами давачів, в яких вимірювання тиску є результатом різниці тисків, зокрема таких давачів як діафрагми, подачі сопла або Вентурі-метрів. Давач перепаду тиску перетворює різницю тисків в сигнал, що передається. Де розміщення давача перепаду тиску (DP) залежить від характеру потоку текучого середовища, яке

вимірюється. Типовий давач диференціального тиску є мінімально інвазивним (зовнішній компонент приєднаний через точки вимірювання); він зазвичай використовується з ємнісним елементом у парі з діафрагмою, яка дозволяє ємнісному тілу рухатися разом або окремо, генеруючи сигнал (через зміну ємності), який може бути інтерпретований до падіння тиску. Вони часто використовуються для виявлення невеликих відмінностей у перепадах великих тиску.

Діапазон вимірюваного тиску та чутливість давача диференціального тиску залежить від електричних та пружних компонентів, що використовуються у самому давачу. Це відмінний давач, який використовується при вимірі перепаду тиску, однак, для всіх інших додатків, він досить непотрібний.

Такі давачі можуть вимірювати надзвичайно низький тиск або вакуум, посилаючись на тиск нижче атмосферного. Крім діафрагми та електричних давачів, призначених для вимірювання низьких тисків, є також теплові давачі провідності та давачі іонізації.

Принцип використований у цьому типі давачів полягає у зміні газової теплопровідності під впливом тиску. Однак через відхилення від ідеальної поведінки газу, в якому зв'язок між цими двома властивостями лінійна, давачі такого роду, які також називаються давачами Пірані, можуть бути використані тільки при низьких тисках, в діапазоні ( $0.4 \times 10^{-3}$  до  $1.3 \times 10^{-3}$ ) МПа. Це дуже чутливі елементи. Вони можуть виявляти зміни тиску  $6 \times 10^{-13}$  МПа.

У цих давачах спіральна нитка проводить струм, що нагріває котушку. Зміна тиску змінює швидкість теплопередачі від нитки розжарення, тим самим змушуючи змінюватись її температуру. Ці зміни в температурі можуть бути виявлені за допомогою термопар, які також підключені до ниток розжарення - частин мостової схеми Уїтстона.



Існує дві категорії для цих типів давачів: з гарячим катодом та з холодним катодом. Для давачів з гарячим катодом електрони випускаються нагрітими нитками, в той час як для давачів з холодним катодом електрони звільняються від катода в результаті зіткнення іонів. Електрони вдаряють молекули газу, що надходить давач, формуючи позитивні іони, які збираються і викликають перебіг іонного струму. Кількість утворень катіона пов'язане з щільністю газу і, отже, тиску, що пропорційно вимірюваному, а також, так як використовується постійний струм електронів, отже, іонний струм є мірою тиску газу. Обидва типи давачів є високочутливими пристроями і найбільше підходить для вимірювання дробових часток тиску. Давачі з гарячим катодом ще більш чутливі, ніж давачі з холодним катодом і здатні вимірювати тиск близько  $10^{-8}$  Па. Їхній діапазон чутливості коливається від  $10^{-16}$  до  $10^{-13}$  МПа.

## 3 ДЕФОРМАЦІЯ ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

### 3.1 Поняття деформації та її види

Переміщення — зміна положення точки тіла у просторі внаслідок зміни його форми та розмірів під впливом навантаження. Повне переміщення точки в просторі розкладається на компоненти  $u$ ,  $v$  і  $w$ , паралельні осям  $x$ ,  $y$  і  $z$  відповідно.

Деформація - зміна форми та розмірів тіла . Переміщення розглянутої точки залежить від деформації всіх навантажених областей тіла і включають також переміщення як жорсткого цілого ненавантажених областей. Тому переміщення що неспроможні характеризувати ступінь деформування на околиці аналізованої точки. Для цього використовують поняття деформації . В окремих випадках їх величини можуть збігатися (розтягування стрижня), але загалом це різні речі.

«Зупинимося ще одному важливому моменті. Дуже часто плутають два поняття - "деформація" і "переміщення" - хоча ясно, що вони не адекватні. Наприклад, уявімо канат, прикріплений до стелі. Канатом на деяку висоту піднялася людина. Очевидно, що під дією ваги людини (нехтуючи вагою каната) деформується (розтягується) тільки верхня частина каната, укладена між стелею та місцем, де знаходиться людина. Нижня частина каната не деформується, а переміщається як тверде тіло. Отже, який завжди переміщення перерізів якогось ділянки стрижня безпосередньо пов'язані з його деформацією.»[1]

Деформації можуть бути кутові та лінійні. Лінійна деформація характеризує зміну розмірів тіла. Розрізняють абсолютну деформацію  $\Delta L$  та відносну деформацію  $\varepsilon = \Delta L/L$  .

Кутова деформація характеризує зміну форми тіла і найчастіше називається кутом зсуву. Кут зсуву - це зміна спочатку прямого кута.  $\gamma = \alpha + \beta$ . Повна деформація - це сума лінійної та кутової деформації. Якщо взяти малий елемент тіла паралелепіпед, орієнтований по осях  $x, y, z$ , то відповідно виникає три лінійні деформації (вздовж осей  $x, y, z$ ) та три кутові деформації у трьох взаємно-перпендикулярних площинах. Відносні лінійні та кутові деформації – величини безрозмірні.

Деформації діляться на пружні та пластичні (залишкові). Пружними деформаціями називаються деформації, що зникають після зняття сил, що їх викликали. Пластичними деформаціями називаються деформації, що не зникають після зняття сил, що їх викликали.

Залежно від прикладених до тіла навантажень розрізняють кілька видів деформації, що відрізняються законом розподілу напруги по перерізу тіла:

Розтягування-стиск – у поперечному перерізі діє лише одне внутрішній зусилля, не рівне нулю – поздовжнє зусилля. Конструкція У цьому випадку говорять про лінійну деформацію конструкції (характеризується абсолютним та відносним подовженням, іншими деформаціями нехтують).

Чисте зрушення – у поперечному перерізі діє лише поперечна сила. У цьому випадку лінійні відносні деформації дорівнюють нулю, кути зсуву не дорівнюють нулю (характеризується зміною форми)

Кручення – у поперечному перерізі діє лише крутний момент. Лінійні відносні деформації дорівнюють нулю, кути зсуву не дорівнюють нулю.

Вигин – у поперечному перерізі діють згинальний момент та поперечна сила.

Складний опір – одночасна дія кількох типів простих деформацій – розтягування-стискування, кручення, вигину.

Для кожного із зазначених видів деформації існують свої формули для розрахунку на міцність.

### 3.2 Методи вимірювання лінійних деформацій

Вимірювання деформації на устаткуванні для дослідження механічних властивостей матеріалів ми зводимо до задачі вимірювання лінійної деформації зразка на осі навантаження. Метод вимірювання деформації на розривній машині Р-20 ми залишимо незмінним. Будемо вимірювати переміщення активного захвата відносно траверси. Система проходить модернізацію, при якій погрішність вимірювань зводиться до мінімуму та вимірювання повинні здійснюватися автоматично. Розглянемо декілька приладів з достатньою точністю та можливістю автоматичного вимірювання.

#### 3.2.1 Цифрові лінійки

Оптичні кодери зазвичай використовують одну із форм фотоелектричного сканування на основі відбиття чи дифракції світла для визначення положення. Скляна шкала позначена дуже тонкими лініями, які називаються решітками, з періодом решітки в кілька мікрон. Скануюча сітка (частина скануючої або зчитувальної головки) має решітки, з таким же інтервалом, як і шкала. При скануванні світлодіодне джерело пропускає світло через скануючу сітку. Коли скануюча сітка і шкала рухаються відносно один одного, світло модулюється. Якщо зазори в решітках вирівнюються, проходить світло, але якщо лінії сітківки збігаються з проміжками шкали (або навпаки), світло не може пройти. Фотоелектричні комірки стежать за цими перепадами світла і перетворює їх в електричні сигнали для відстеження руху.

Інтерференційне сканування, як правило, використовується для періодів решітки в діапазоні від 5 мкм і менше і використовує тривимірні структури на шкалі, які спираються на дифракцію та інтерференцію світла. Коли світло проходить крізь сітку, воно розсіюється на три часткові хвилі, і коли ці часткові хвилі потрапляють у шкалу, 3-D решітки на шкалі дифракціують хвилі. Потім хвилі знову зустрічаються біля сітківки, де вони далі дифракціуються і заважають одна одній. У міру переміщення сітківки і шкали відносно один одного виробляється змінна інтенсивність світла. Ця зміна інтенсивності світла контролюється фотоелектричними елементами і перетворюється в електричні сигнали. Можливо, найпоширенішим застосуванням лінійних енкoderів зі скляною шкалою є надточна обробка, особливо шліфувальні та токарні верстати для оптики та деталі, що використовуються в аерокосмічній промисловості. Запчастини, оброблені з однозначною або субмікронною точністю, повинні бути перевірені, а скляні енкoderи дозволяють вимірювальним пристроям, таким як координатні вимірювальні машини (КВМ), виконувати це завдання. Крім того, оптичні енкoderи пропонують більш високу роздільну здатність, ніж магнітні. Вони мають набагато менший коефіцієнт теплового розширення, тобто на шкалу практично не впливає зміна температури, що може змінити крок решіток шкали та знизити точність вимірювання. Оптичні енкoderи також можуть використовуватися у вакуумних середовищах, включаючи високі та надвисокі вакууми. Але оптичні енкoderи все ще залишаються спеціалізованим продуктом - у більшості випадків вони використовуються лише там, де це конче необхідно. Частково це пов'язано з вартістю, але також і тому, що для оптичних енкoderів поставлені інші завдання при застосування, ніж для магнітних версій. Маючи менший крок решітки, ніж більшість магнітних кодерів, будь-які помилки в монтажі мають більш виражений вплив на точність оптичної шкали. Рухомою частиною

лінійки є зчитувальна головка, яка рухається вздовж скляної шкали з обох сторін. Конструкції сучасних зчитувальних головок стали більш продуманими. Якщо раніше, щоб встановити оптичну лінійку, потрібно було багато часу і різних пристосувань щоб виставити необхідні зазори, то зараз процес установки значно спростився. У конструкції головки застосований принцип шарнірного з'єднання, що не виставляє жорстких вимог при установці головки щодо самої лінійки. Плюс до цього, в сучасних оптичних лінійках зчитувальна головка має завжди однаковий зазор по відношенню до скляної шкали. Це можливо за рахунок застосування в конструкції головки 5-ти підшипників, за рахунок яких вона переміщується по склу, будучи однаково притиснутою з усіх боків. Цим і забезпечується створення необхідних зазорів. Після встановлення оптичної шкали, захист її від забруднення надзвичайно важлива. Магнітні лінійки здебільшого чутливі лише до магнітного забруднення, тоді як оптичний енкодер чутливий до будь-якого сміття, що заважає пропусканню світла. Це важливе питання, яке потребує вирішення, оскільки оптичні лінійки встановлюються на рухомі осі, де виконується робота, а це пряме джерело стружки, рідин та іншого сміття. Раніше використовувалися оптичні лінійки відкритого типу, в яких оптична шкала не була захищена металевим корпусом, але застосування таких лінійок на даний момент вкрай нераціональне у зв'язку з їх слабким захистом від пилу та бруду. В сучасних оптичних лінійках конструкція корпусу з суцільнотягнутого дюралюмінієвого профілю. Таким чином вдається досягти високого рівня захищеності і геометричної стабільності. Одним з недоліків оптичних лінійок є те, що використання в якості вимірювача - скляної смужки, робить саму конструкцію лінійки досить чутливою. Скло, як всім нам відомо, є дуже крихким матеріалом. Тому така конструкція має обмеження по довжині (до 3 метрів). Альтернативою є використання магнітних енкодерів. Там, де оптичні лінійні енкодери

використовують шкалу з періодичними градаціями, джерелом світла та фотодетектором для визначення положення, магнітний енкодер використовує зчитувальну головку, яка кріпиться за допомогою кронштейна до рухомої частини верстату. В конструкції вона має чутливий елемент у поєднанні зі шкалою, який фіксує при русі зміну полярності на магнітній стрічці, і перетворює її в електричний TTL сигнал. Зчитувальна головка виявляє магнітні полюси на шкалі через зміну напруги або зміну магнітного опору. Поперединний північний і південний магнітні полюси розташовані на точній відстані, що називається кроком полюса. Зазвичай використовують крок 5 + 5 мм та 2 + 2 мм. Шкала, що використовується в магнітних лінійних кодерах, є багат шаровою, включаючи гнучкий базовий шар з клейкою підкладкою, магнітну шкалу, а в деяких випадках - додаткові смуги із пластику або нержавіючої сталі для захисту магнітної шкали. Установка магнітної лінійки - процес досить простий, в порівнянні з установкою оптичної лінійки. Магнітна стрічка просто приклеюється на поверхню. Для установки магнітної лінійки не потрібно ідеальна геометрична поверхня (база), як для оптичних лінійок. Це дуже важливо, так як універсальні верстати з самого початку не мають підготовлених, геометрично точних поверхонь для установки вимірювальної системи. Але бувають випадки, коли поверхня, на яку буде встановлюватися лінійка ну зовсім крива. У таких випадках застосовуються так звані напрямні (Pad Strips), які кріпляться до станини верстата через регульовані по висоті опори. При чому ці напрямні є по суті каркасом для магнітної стрічки. Спочатку встановлюються, геометрично перевіряються і жорстко фіксуються напрямні, а потім в них закладається сама магнітна стрічка. Потім стрічка закривається захисною стрічкою з нержавіючої сталі. Використання такої каркасної системи дозволяє встановлювати магнітну лінійку на поверхню з перепадами по довжині до 2 см ! Трудомісткість, звичайно, дещо зростає, але це

не порівняти з процесом установки оптичної лінійки аналогічної довжини. Однією з переваг магнітних лінійних енкoderів є те, що магнітна стрічка може використовуватися на великих довжинах - до 50 метрів. Але магнітне кодування має недолік - щоб отримати остаточні результати вимірювання необхідне проходження всієї довжини кодера, а це все - витрати часу. Ось чому магнітні стрічки часто включають кодовані "опорні" позначки. Ці позначки - це магнітні полюси, які включені додатково до шкали стандартних магнітних полюсів. Опорні позначки розташовуються індивідуально (тобто їх відстань не однакове по довжині стрічки) і незалежно від стандартних магнітних полюсів. Після проходження двох опорних знаків кодер може визначити абсолютне положення на основі положення першого опорного знака. Для забезпечення абсолютного вимірювання положення магнітні кодери зазвичай використовують дві магнітні доріжки в одній шкалі - інкрементну та абсолютну доріжку. Абсолютна доріжка кодується певним малюнком, який надає кожній позиції унікальне «слово», яке зчитується датчиком. Зчитувальна голівка містить два датчики - по одному на кожну доріжку. Загальна установка використовує датчик Холла для зчитування абсолютної доріжки, а магнітострикційний датчик для зчитування інкрементальної доріжки. При запуску кодер зчитує абсолютну доріжку для визначення її положення, а потім під час руху зчитує інкрементальну доріжку для відстеження та вимірювання позиції. Технологія магнітного кодера практично усуває один з основних недоліків оптичних кодерів - чутливість до бруду, пилу, рідин та інших сміття. Оскільки оптичні конструкції покладаються або на відбиття, або на заломлення світла, все, що заважає пропусканню світла, може спричинити проблеми із сигналом. Оскільки магнітні енкoderи не потребують оптичного контролю для вимірювання положення, забруднення не впливає на їх продуктивність. (Виняток становлять будь-які магнітні забруднення або навколишнє



середовище, які будуть перешкоджати здатності магнітного кодера вимірювати положення.) Крім того, оптичні енкодери вимагають збереження невеликого повітряного зазору – зазвичай в межах 0,25 мм. між шкалою і детектором, і цей зазор може бути порушений вібраціями або ударами.

Отже, ми розглянули основні види деформації та можливі методи її вимірювання. Також детально розібрали цифрові лінійки, методи установки та їхні основні недоліки та переваги.

## 4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ВИКОНАЧОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

Загалом система складається з таких елементів:

- Мікроконтролер.
- Давач тиску та відстані.
- Елемент виконавчого механізму
- Блок живлення.
- Дисплей.
- Енкодер.

### 4.1 Мікроконтролер

Платформа Arduino вибрана не спроста. Arduino - це електронний конструктор для користування яким не потрібно бути асом.[9] Платформа користується величезною популярністю в усьому світі завдяки зручності і простоті. Пристрій програмується через USB без використання програматорів. Arduino дозволяє комп'ютеру вийти за рамки програми і дає можливість взаємодіяти з фізичним світом. Пристрої на базі Arduino можуть отримувати інформацію про навколишнє середовище за допомогою різних датчиків, а також можуть управляти різними виконавчими пристроями. Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови Arduino (заснований на мові Wiring) і середовища розробки Arduino (заснована на середовищі Processing). Проекти пристроїв, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно, або ж взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері. Програмне забезпечення вільне для завантаження. Для даної системи була вибрана

платформа Arduino Mega2560, а саме її репліка. З основними характеристиками можна ознайомитися у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.1 – Характеристики мікроконтролера

Мікросхема	Atmel Atmega2560—16AU
Робоча напруга( логічний рівень)	5V
Вхідна напруга ( рекомендована )	7-12V
Вхідна напруга ( мін.--макс.)	6-20V
Цифрові входи/виходи	54(17 з яких можуть використовуватися як ШИМ виходи)
Аналогові входи	16
Постійний струм через вхід/вихід	40mA
Флеш пам'ять	256 Кб при цьому 8 Кб використовуються для завантаження
Оперативна пам'ять	8 Кб
EEPROM	4 Кб
Тактова частота	16 МГц
Розмір	101мм x 53мм x 37мм

## 4.2 Давачі

Під словом модернізація ми однозначно розуміємо покращення характеристик певного устаткування. Ми можемо підняти точність вимірювань

високоточними керамічними давачами тиску. Складемо вибірку та порівняємо характеристики у таблиці 4.2.1. До порівняння взяті доступні на ринку три давачі таких компаній виробників як: Schneider Electric[1], Danfoss[2] та BD Sensors[3].

Таблиця 4.2.1 – Порівняння характеристик датчиків тиску

	Schneider Electric XMLP250BC21F	Danfoss 060G1111	BD Sensors DMP 3301
	0	0	0
	250	250	250
	12	10	12
	24	30	36
Мінімальний вимірюваний тиск, Bar	±0,5%	±0,5%	±0,5%
Максимальний вимірюваний тиск, Bar	Аналоговий	Аналоговий	Аналоговий
Мінімальна напруга живлення, V DC	20	20	20
Максимальна напруга живлення, V DC	4	4	4
Максимальний час реакції, мс	<2	4	10
Максимально допустимий випадковий тиск, Bar	750	1500	400
Тиск руйнування, Bar	1500	1600	750
Вібростійкість, g	20	20	10
Ударостійкість, g	100g для 11мс	500g для 1мс	100g для 11мс
Максимально можлива ступінь захисту, IP	65	65	65

Отже найбільш допустимим для використання в нашій системі, на мою думку, є давач виробника Schneider Electric. Сам давач виробляється в Швеції та має міжнародні сертифікати. Загальний вигляд давача тиску Schneider Electric з індексом XMLP250BC21F зображено на рис. 4.2.1.



Рисунок 4.2.1 – Давач тиску Schneider Electric XMLP250BC21F

Виберемо модулі вимірювання відстані Arduino. Розглянемо два основні представлені на ринку. Перший – ультразвуковий. Його основні характеристики наведені в таблиці. Його основні характеристики наведені в таблиці 4.2.2

Таблиця 4.2.2 – Основні характеристики ультразвукового давача відстані

Робоча напруга	5 V DC
Робочий струм	15 mA
Робоча частота	40 кГц

Мінімальна дальність вимірювання	2 см
Максимальна дальність вимірювання	5 м
Кут вимірювання	15°
Габарити	45,2 * 20,4 * 19,0 мм
Вага	9 г

Ультразвуковий давач[] використовується в основному для конструювання автоматичних систем розумного будинку, тому що має занадто велику похибку для точних вимірів. Він переважно використовується виявлення об'єктів і виміру відстані до них. Принцип роботи пристрою такий: пристрій випромінює звукові коливання певної частоти, при зустрічі з твердою поверхнею випущені звукові хвилі повертаються назад у датчик. Після цього мікроконтролер вираховує відстань до об'єкта за певною формулою. Відстань, на якій виявляються об'єкти, доходить до 8 метрів, але з кожним метром знижується точність вимірювань. Також важливо, щоб вимірюваний об'єкт мав гладку поверхню. Такий давач зображений на рис. 4.2.2

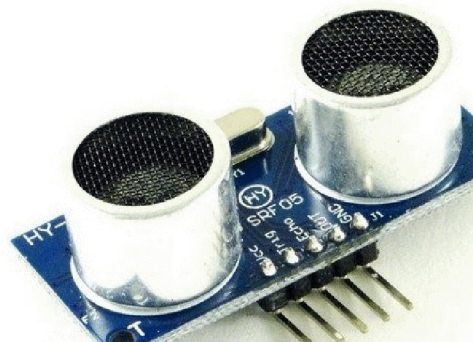


Рисунок 4.2.2 – Ультразвуковий давач відстані

Альтернативою неточному ультразвуковому давачу є інфрачервоний давач відстані[15]. ІЧ давач - працює на основі інфрачервоного променя

(лазера), високоточне обладнання мають широкую сферу застосування.

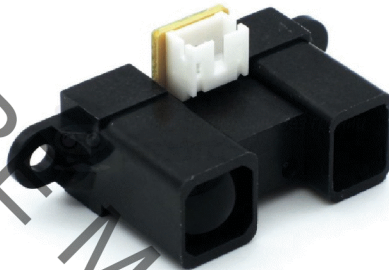


Рисунок 4.2.3 – ІЧ давач відстані

Лазерний давач відстані, що зображений на рис. 4.2.3, працює таким чином: прилад посилає сигнал у вигляді лазерного променя, який відображається від перешкоди, що стоїть перед ним, і повертається назад у фотоелемент. На основі того, з якою швидкістю повернувся сигнал, мікроконтролер обчислює відстань до перешкоди. Залежно від якості давача він може вимірювати дальність до декількох сотень метрів з погрешністю близько 1%. Розглянемо SHARP — GP2Y0A02YK0F. Характеристики наведені в таблиці 4.2.3.

Таблиця 4.2.3 – Основні характеристики ультразвукового давача відстані

Робоча напруга	5 V DC
Робочий струм	33 mA
Мінімальна дальність вимірювання	20 см
Максимальна дальність вимірювання	150 см
Кут вимірювання	--
Габарити	29.5x13x21.6 мм
Вага	9 г



Давач має спеціальний ІЧ-об'єктив, який приймає відбитий ІЧ-промінь на спеціальну ПЗЗ-матрицю. На основі даних ПЗЗ-матриці визначається кут відображення, який потім використовується для розрахунку дальності. Відповідне значення дальності подається на аналоговий вихід сенсора, яке можна вважати нашим мікроконтролером. Для позбавлення від можливих перешкод сенсори SHARP випромінюють ІЧ-сигнал з модульованою частотою. Це дозволяє практично повністю застрахуватися від перешкод від навколишнього світла. Крім того, датчики показують майже повну байдужість до кольору об'єкта (датчик здатний виявляти чорні стіни при сонячному світлі).

#### 4.3 Елемент виконавчого механізму

Для управління Arduino потрібний виконавчий механізм, який буде автоматизовано проводити плавне переміщення дроселя регулятора швидкості. Для цього використаємо кроковий двигун. Для даного проекту було вирішено використати 57BYG250H-8, характеристики якого наведені у таблиці 4.3.1.

Таблиця 4.3.1 – Характеристики крокового двигуна

Напруга живлення, V DC	24
Споживаний струм, A	3
Частота обертання, об/хв	800

Продовження таблиці 4.3.1

Кількість фаз	2
Максимальний момент утримання, Н*м	2,8
Кутовий крок, °	1,8
Точність кроку, %	5

Тип фланця	NEMA 23
Діаметр валу, мм	8

Габаритні розміри наведені на рис. 4.3.1

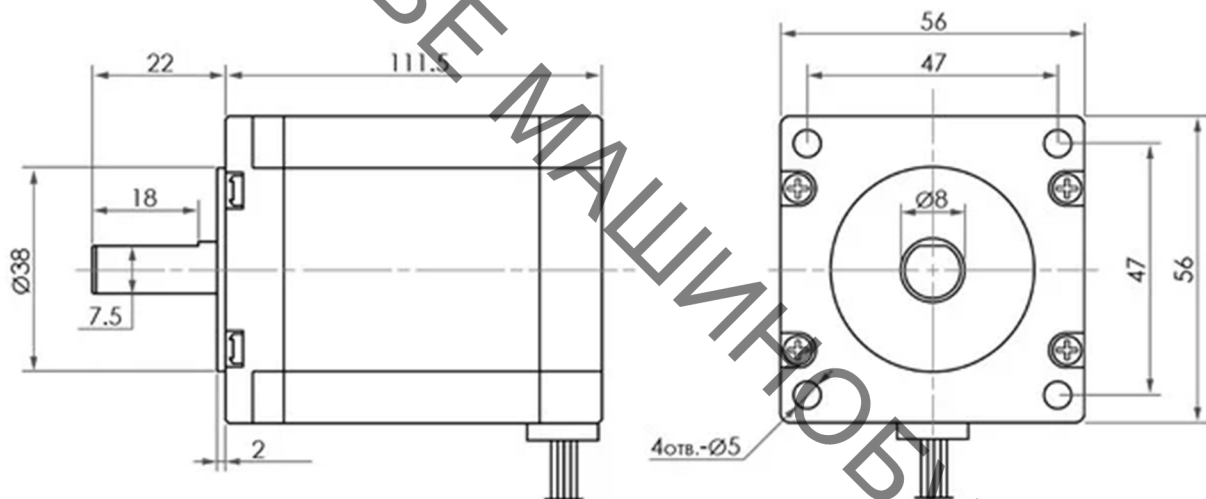


Рисунок 4.3.1 – Габаритні розміри крокового двигуна

Переваги 57BYG250H-8:

- Відносно високий момент утримання
- Можливість задавати потрібний кут повороту валу двигуна
- Можливість фіксування положення ротора струмом утримання
- Висока точність кроку
- Висока швидкість старту, зупинки та зміни напрямку обертання
- Не вимагає зворотного зв'язку для точного позиціонування
- Низька ціна (порівняно з серводвигунами)
- Висока надійність та тривалий термін служби

Недоліки 57BYG250H-8:

- Значні втрати моменту на високих швидкостях

- Є можливість пропуску кроків при перевантаженні
- Висока температура поверхні двигуна під час роботи

Так як одним з мінусів є втрата моменту на високих швидкостях, ми не можемо не звернути увагу на графік залежності крутного моменту від швидкості двигуна, зображений на рис. 4.3.2

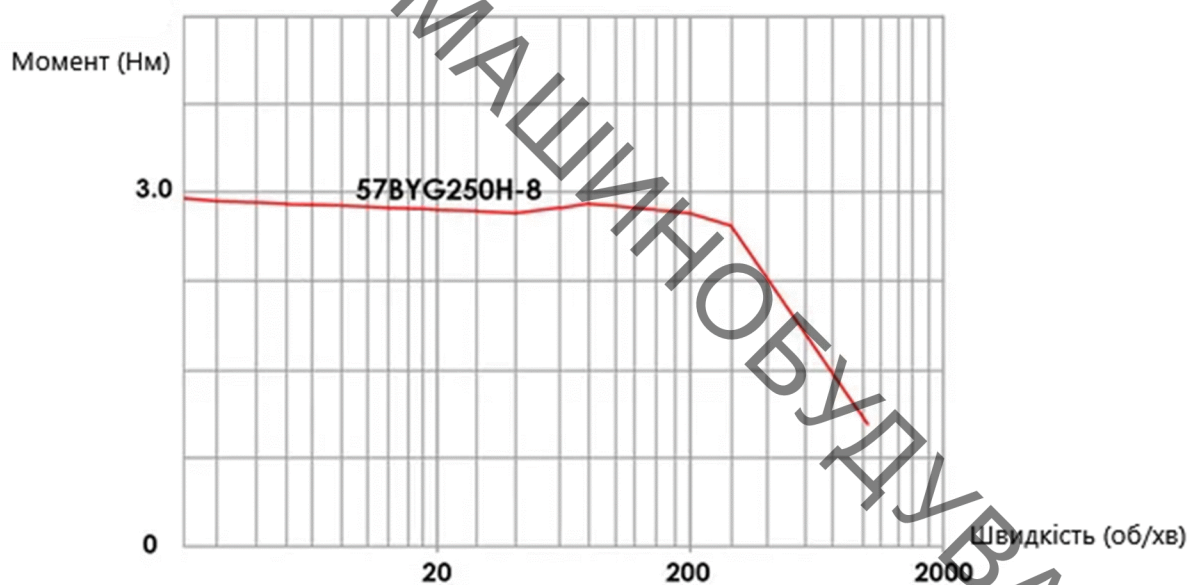


Рисунок 4.3.2 – Графік залежності крутного моменту від швидкості

Але підключення крокового двигуна напряму до платформи Arduino неможливе, тому потрібно використати драйвер. Беручи до уваги всі електронні характеристики крокового двигуна можна припустити, що драйвер DM556D підійде для наших цілей. Характеристики даного пристрою наведені у табл. 4.3.2

Таблиця 4.3.2 – Характеристики драйвера крокового двигуна

Частота, кГц	200
Кількість імпульсів	16 режимів, максимум 51200 імпульсів на оберт

Напруга живлення, V DC	24 – 50
Струм, А	2,1 – 5,6

#### 4.4 Блок живлення

Блок живлення це частина системи, без якої вона не буде працювати. Під кожен модель потрібно буде використовувати різні блоки. Під дану систему буде використаний блок з характеристиками наведеними у табл. 4.4.1.

Таблиця 4.4.1 – Характеристика блоку живлення

Напруга живлення, V AC	220
Тип	Імпульсний
Вихідна напруга, V DC	24
Вихідний струм, А	15
Розміри, мм	200 * 50* 100
Тип охолодження	Активне

Напруга 24 вольт є безпечною для людини. Друга причина - це електрична ерозія контактів постійного струму, що при більших напругах є досить серйозною проблемою.

При постійному струмі перенесення матеріалу з одного контакту на інший виявляється більш інтенсивною, ніж при змінному струмі, так як напрямок струму в колі не змінюється. При малих значеннях струмів ерозія контактів обумовлена руйнуванням контактної перешийки не в середині, а ближче до одного з електродів. Частіше всього розрив контактної перешийки спостерігається у анода - позитивного електрода.

Але для живлення інших компонентів системи ми не можемо використовувати таку високу напругу. Для її зменшення використаємо

понижувальний перетворювач XL4015 з регулюванням струму на напруги. Характеристики даного модуля наведені в таблиці 4.4.2.

Таблиця 4.4.2 – Характеристики понижувального перетворювача

Мінімальна вхідна напруга, V DC	8
Максимальна вхідна напруга, V DC	36
Мінімальна вихідна напруга, V DC	1,25
Максимальна вихідна напруга, V DC	32
Максимальний вихідний струм, A	5
Захист від замикання	Так
Захист від перегріву	Так

#### 4.5 Пристрої вводу та виводу

Екран разом з енкодером слугує комунікатором між людиною та системою. Для даної системи достатньо буде LCD дисплея з розмірністю 16\*2[12]. Його характеристики наведені у табл. 4.5.1.

Таблиця 4.5.1 – Характеристики дисплея

Напруга живлення, V DC	5
Робоча температура, ° C	0 ...50
Розміри, мм	80 * 36
Колір підсвітки	Голубий
Колір символів	Білий
Розмір символу, мм	4,35 * 2,95
Формат	16 * 2
Розмір пікселя, мм	0,5 * 0,5

Інтерфейс	HD44780
-----------	---------

Енкодер (від англ. encode – перетворювати) – це пристрій перетворення кутових положень чи лінійних переміщень в цифровий сигнал, тобто. енкодер – це датчик кута або лінійного переміщення, відповідно є крутильні та лінійні енкодери. Принцип роботи енкодера полягає в перетворенні механічного переміщення в електричні сигнали. Характеристики енкодера наведені у табл. 4.5.2.

Таблиця 4.5.2 – Характеристики енкодера

Робоча напруга, V DC	3-15
Число імпульсів на оберт, шт	20
Габаритні розміри, мм	20 * 30 * 30
Наявність зворотнього зв'язку	Ні

Отже ми детально проаналізували доступні на ринку компоненти для модернізації системи, зробили вибірку та вивчили детально їхні особливості експлуатації.

## 5 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТУ

Для реалізації системи встановлені два вимірювальні канали: тиску в системі та відстані від траверси до активного захвату. Також присутнє вимірювання часу, яке реалізоване програмно. Структурна схема системи зображена на рисунку 5.1.

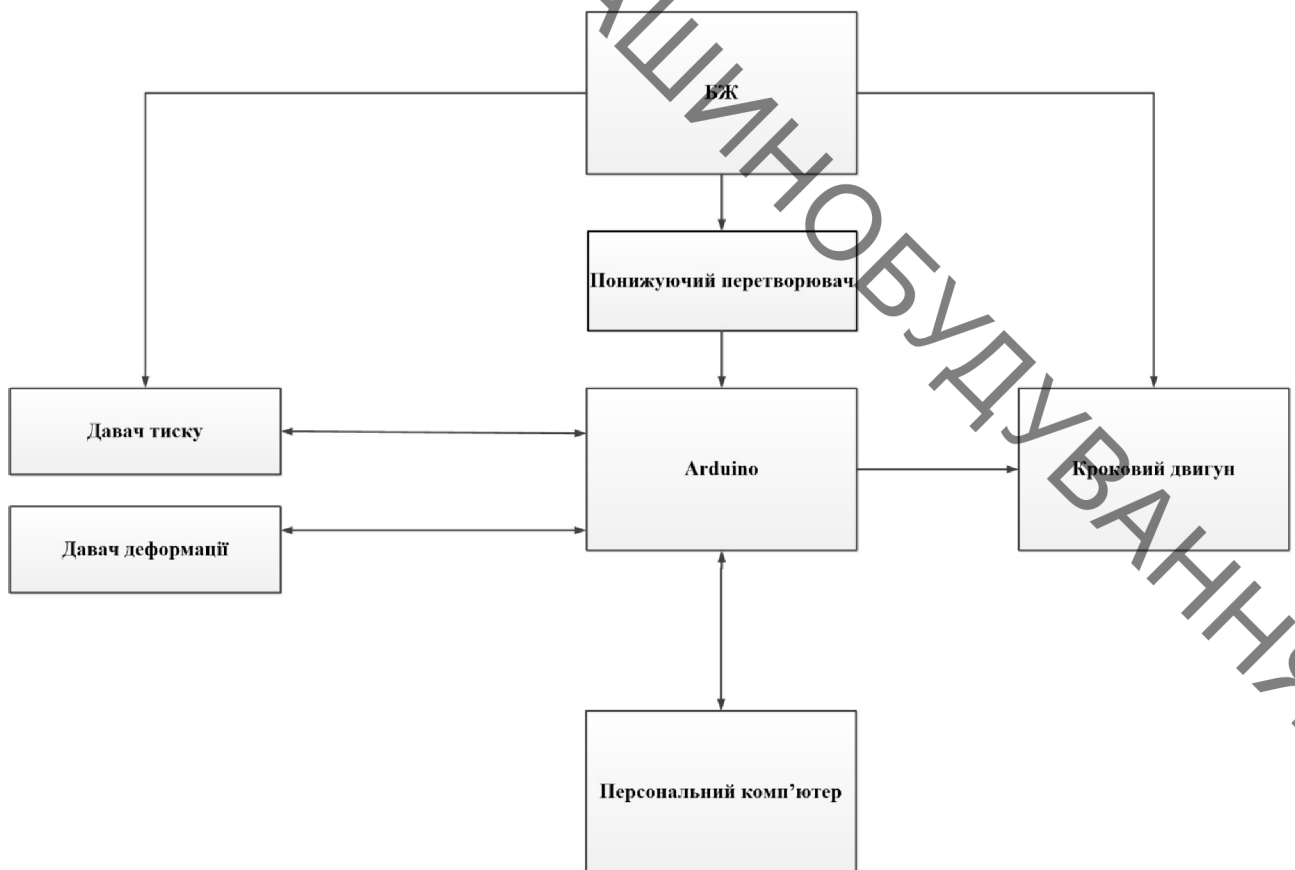


Рисунок 3.1 – Перша структурна схема системи

При даній реалізації пристрою платформа Arduino на основі мікроконтролера Atmega2560—16AU приймає сигнали від датчиків через аналогові та цифрові порти та виводить на ПК. Керування здійснюється за

допомогою персонального комп'ютера. При такій схемі дана система немає автономного режиму роботи, тобто при відсутності ПК досліди не можуть бути здійснені. Також Великим недоліком цієї схеми є відсутність драйвера, тобто ми не зможемо підключити двигун з достатнім крутним моментом. Другий варіант схеми зображено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Друга структурна схема системи

В даному варіанті, все керування та логіка виконуються на ПК. Але для прийому даних та обробки сигналів, керування кроковим двигуном нам потрібно встановити окремі модулі а для системи потрібно використовувати меншу кількість окремих блоків, адже зі збільшення елементів – надійність падає. Тому найвигіднішою та найавтономнішою є система зображена на рисунку 3.3.



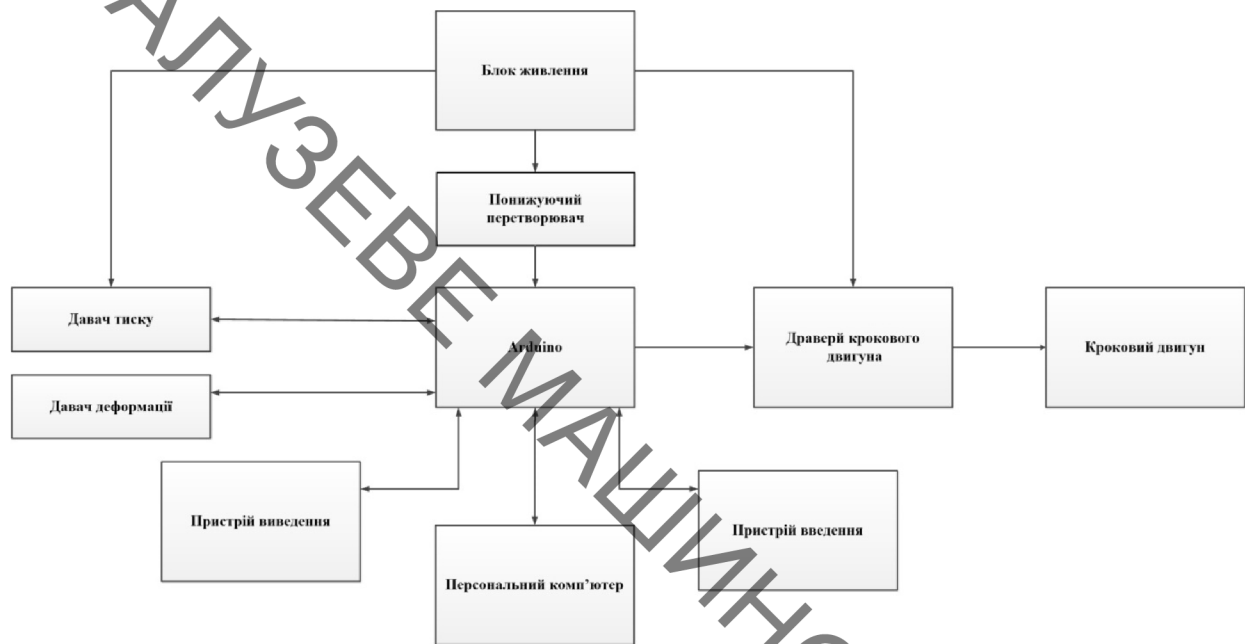


Рисунок 3.3 – Третя структурна схема системи.

У даному представленні живлення модулів та мікроконтролера здійснюється окремим блоком живлення. Він живить давач тиску та кроковий двигун. До боку живлення під'єднаний понижувачий перетворювач, який живить давач деформації, LCD дисплей, енкодер та Arduino. Також завдяки під'єднанню драйвера, можна підключити кроковий двигун з достатнім крутним моментом. Ще одним невід'ємною перевагою є «автономність» пристрою, так як вся програма записана в мікроконтролері, до якого під'єднані пристрої для керування (енкодер та дисплей).

Порівняння системи зображенів таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Порівняння структурних схем систем

	Перша система	Друга система	Третя система	Ідеальна система
Надійність	0	0	1	1
Універсальність	1	0	1	1
Автономність	1	0	1	1
Потужність	0	1	1	1
$\Sigma i$	$\Sigma 1 = 2$	$\Sigma 2 = 1$	$\Sigma 3 = 4$	$\Sigma i_d = 4$

Обрахуємо критерій якості за наступною формулою

$$A_i = \sum \frac{E_i}{E_{i_d}} \quad (3.1)$$

Критерій якості першої системи.

$$A_1 = \frac{2}{4} = 0,5 \quad (3.2)$$

Критерій якості другої системи.

$$A_2 = \frac{1}{4} = 0,25 \quad (3.3)$$

Критерій якості третьої системи.

$$A1 = \frac{4}{4} = 1 \quad (3.4)$$

Отже, з таблиці вище бачимо, що критерій якості третьої схеми більший, ніж для інших структурних схем. Можна зробити висновок, що третій варіант структурної схеми є доцільнішим у використанні. Схема структурна системи модернізованої наведена у додатку Б.

Обрана схема має ряд переваг над попередніми. Головною перевагою даної схеми є простота в реалізації. Завдяки тому, що дана схема має малу кількість комплектуючих деталей вона є більш завадостійкою, як наслідок отримання сигналу спрощується. Це в свою чергу призводить до того, що точність та надійність цієї системи збільшується. Також є відсутність залежності від ПК.

У даному розділі ми розглянули множину варіацій компонування системи автоматичного керування та реєстрації результатів досліджень, провели порівняльну характеристику трьох варіантів підключення вибраних для системи компонентів та обрахували критерії якості для них. Розробили структурну схему системи автоматичного керування.

## 6 ТЕСТУВАННЯ ВИБРАНИХ КОМПОНЕНТІВ

### 6.1 Підключення давача тиску

Давачі тиску компанії виробника Schneider Electric мають кілька варіантів вихідного сигналу:

1. 0-5 VDC
2. 4-20 mA
3. 0-10 VDC

Набільш підходящим я вважаю тип вихідного сигналу 4-20 mA. [14] При підключенні давачів з вихідним сигналом першого та третього типу, підключення здійснюється трьома проводами. Основним недоліком третього типу сигналу, для підключення до нашої системи є неможливість лінійно перетворювати сигнал в тип 0-5 VDC. Arduino має максимальну межу вхідного сигналу в 5 VDC. Одним же з недоліків типу сигналу першого типу є неможливість комп'ютерного діагностування. Третій варіант має можливість діагностування обриву провода, так як нижній рівень сигналу не нульовий. Тому розглянемо давач з індексом XMLP250BC21F.

Ми можемо міряти струм 4-20 mA аналоговим входом контролера Arduino або інших, зібравши попередньо наступну просту схему, що зображена на рис. 4.2.1. Напруга на аналоговому вході тут буде пропорційна струму через контрольний резистор. Номінал резистора  $R_x$  можна вважати за простою формулою

$$R_x = U_{plc} / 0,02A \quad (4.2.1)$$

де  $0,02\text{A}$  – це струм  $20\text{mA}$ , а  $U_{\text{rлс}}$  – це максимальний рівень аналогового входу контролера у вольтах.

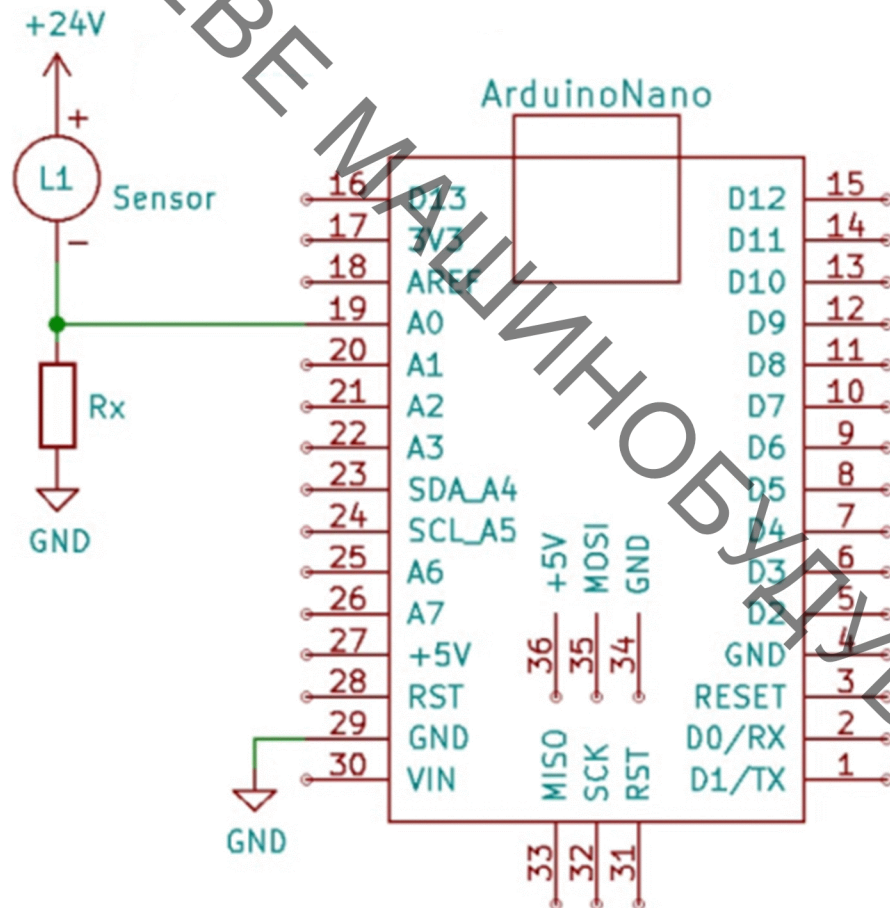


Рисунок 6.1.1. – Схема підключення датчика

Для Arduino Mega2560 ця напруга становить 5В. Таким чином отримуємо для Arduino Mega2560 опір  $d = 250\ \text{Ом}$ . Сам резистор Rx потрібно вибрати найточніший з усіх, доступних, щоб показання якнайменше залежали від навколишнього середовища.

Далі можна збирати схему та міряти напругу на резисторі через аналоговий вхід контролера. За розрахунками для Arduino у нас вийшов опір

резистора 250 Ом, але через не точність резистора у нас може виходити невеликий вихід за межу вимірювання аналогового входу. Тому для підключення потрібний резистор 220 Ом.

## 6.2 Підключення крокового двигуна через драйвер

Не кожний кроковий двигун можна під'єднати до мікроконтролера без драйвера. Напруга живлення вибраного крокового двигуна становить 24 VDC, а піковий струм становить 3A.[18] Тому підключення напряму до мікроконтролера неможливе. Підключення драйвера здійснимо за схемою наведеною на рис. 6.2.1

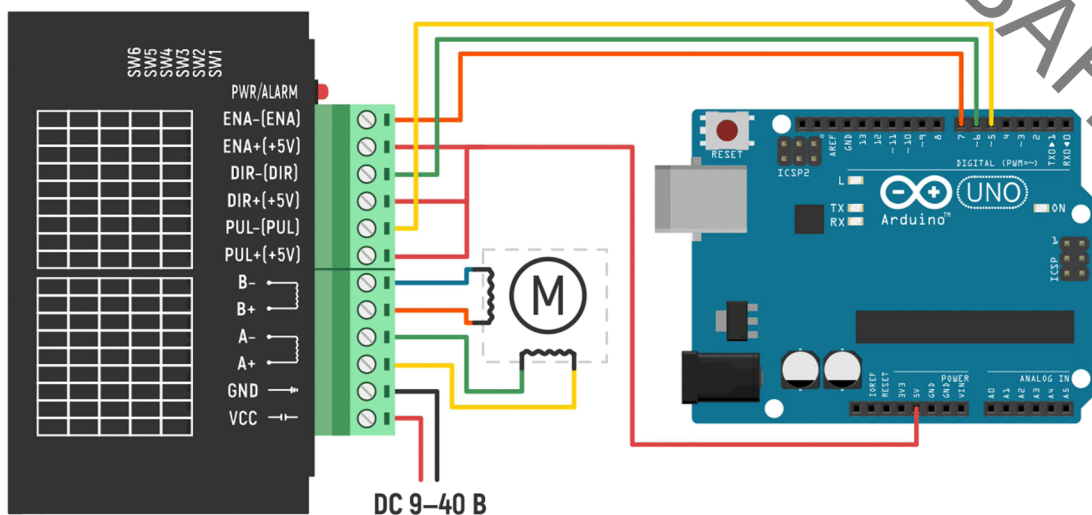


Рисунок 6.2.1 – Схема підключення драйвера крокового двигуна

Для тестування двигуна потрібно ініціалізувати пini підключення. У функції `setup` вказуємо номери pinів та режим роботи.

```
void setup()
{
  pinMode (5, OUTPUT); // PUL
  pinMode (6, OUTPUT); // DIR
  pinMode (7, OUTPUT); // ENA
}
```

На драйвері PUL це Pulse або Step – імпульс кроку, DIR це Direction тобто напрям повороту двигуна, а ENA це Enable – дозвіл роботи двигуна. Виходячи з досліджених даних, можна написати тестовий скетч. Код основної функції буде виглядати так.

```
for (int i=0; i<6400; i++) // 6400 кроків вперед
{
  digitalWrite(DIR,LOW);
  digitalWrite(ENA,HIGH);
  digitalWrite(PUL,HIGH);
  delayMicroseconds(50);
  digitalWrite(PUL,LOW);
  delayMicroseconds(50);
}
for (int i=0; i<6400; i++) // 6400 кроків назад
{
  digitalWrite(DIR,HIGH);
  digitalWrite(ENA,HIGH);
  digitalWrite(PUL,HIGH);
  delayMicroseconds(50);
}
```

```

digitalWrite(PUL,LOW);
delayMicroseconds(50);
}

```

Цикл For виконує потрібну кількість повторень сигналів. Затримка після імпульсу дозволяє регулювати швидкість руху двигуна. Також дане налаштування є на драйвері. Готову збірку можна побачити на рис. 6.2.2

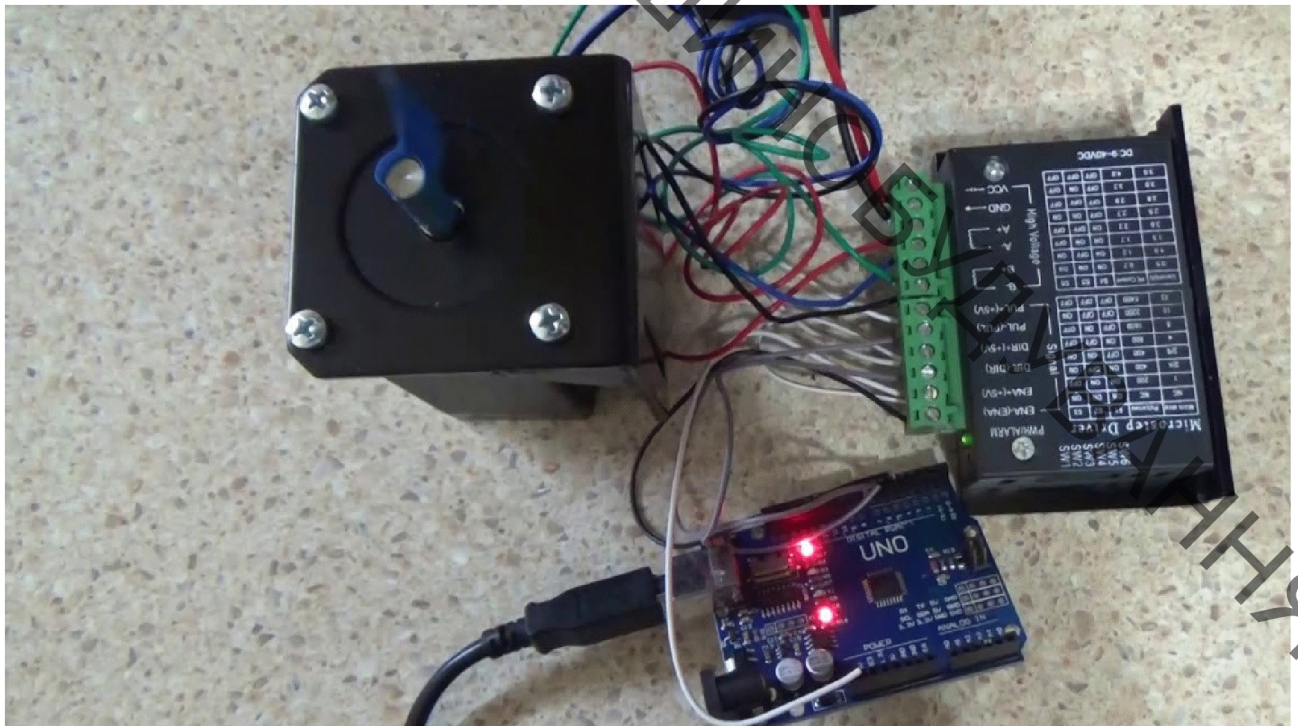


Рисунок 6.2.2 – Підключення крокового двигуна та драйвера до мікроконтролера Arduino

### 6.3 Підключення дисплею та енкодера

Дисплей спілкується з мікроконтролером по шині I2C – це послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем, розроблена фірмою Philips на початку 1980-х як проста шина внутрішнього зв'язку для створення керуючої



електроніки. Вона використовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з материнською платою.

Модуль енкодера - це елемент системи за допомогою якого здійснюється зміна налаштувань. На модулі вже присутні всі резистори для його коректної роботи. На один оберт ручки модуля приходиться 20 фіксованих позицій. Також він має кнопку, яка спрацьовує при натисканні на неї.

Схема підключення енкодера та дисплея показані на рис. 6.3.1

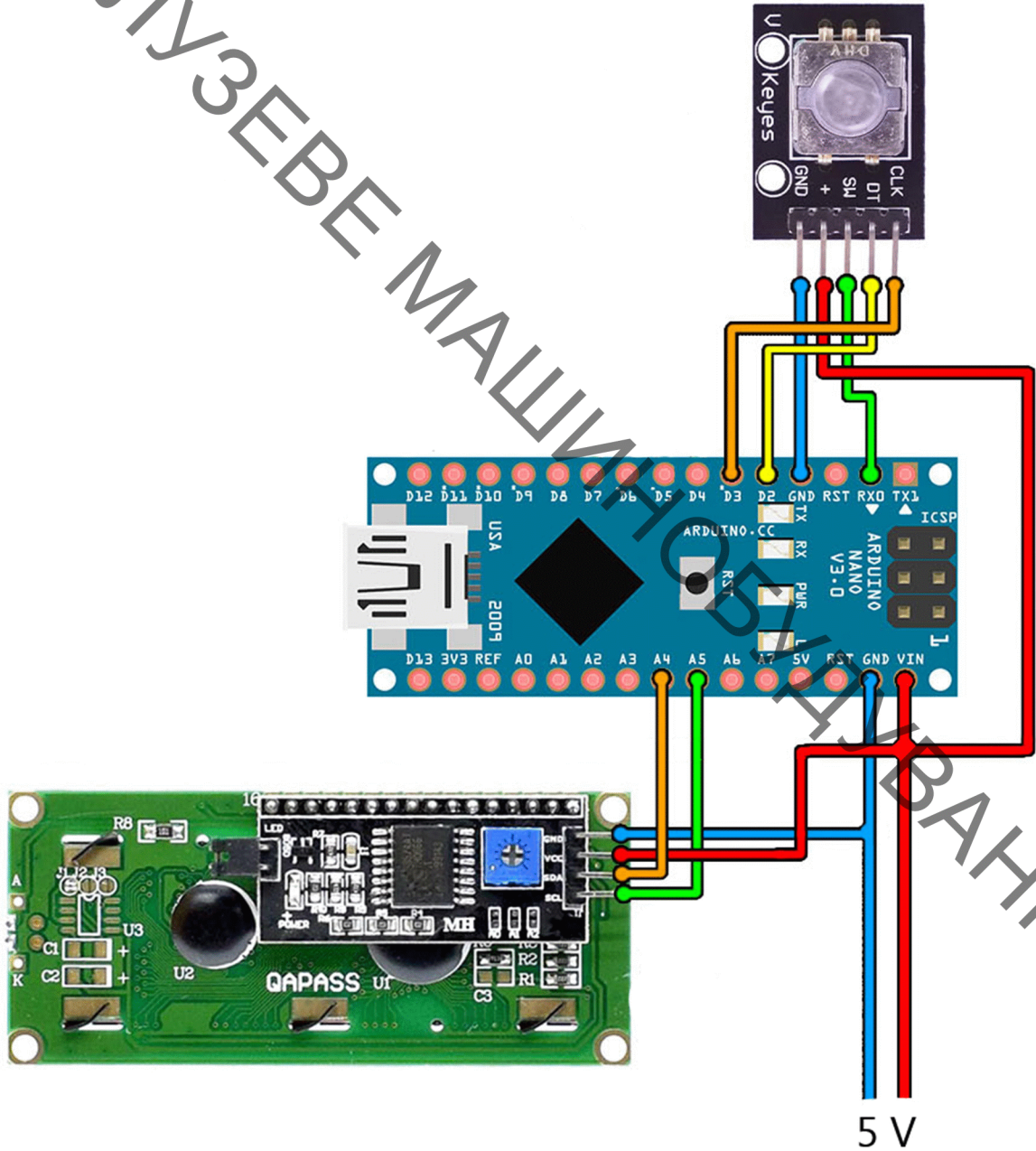


Рисунок 6.3.1 – Схема підключення енкодера та дисплею

Готове підключення показане на рисунку 6.3.2.



Рисунок 6.3.2 – Підключення енкодера та дисплея

Підключається модуль енкодера дуже просто: живлення на живлення (GND і VCC), логічні піни CLK, DT (тактові висновки енкодера) та SW (виведення кнопки) на будь-які піни Arduino (D або A). У круглих модулів висновки енкодера підписані як S1 і S2, а виведення кнопки як Key, підключаються так само. Від порядку підключення тактових висновків енкодера залежить "напрямок" його роботи, але це можна виправити в програмі.

Для підключення енкодера ми використаємо бібліотеку GyverEncoder.h. Її переваги:

- Відпрацювання повороту рукоятки енкодера
  - Звичайний поворот
  - "Натиснутий поворот"
  - "Швидкий" поворот

- Три алгоритми опитування енкодера:
  - Швидкий – але не справляється із люфтами
  - Бінарний - повільніше, краще справляється з люфтами
  - Високоточний – ще повільніше, але працює навіть із убитим енкодером
- Можливість роботи з "віртуальним" енкодером - через розширювач пінів або ще як
- Робота з двома типами енкодерів
- Робота з кнопкою енкодера:
- Відпрацювання натискання
  - Кліка
  - Подвійний клік
  - Утримання
- Антибрязкіт контактів
- Можливість повністю прибрати код кнопки для швидкодії

#### 6.4 Підключення модуля SharpIr

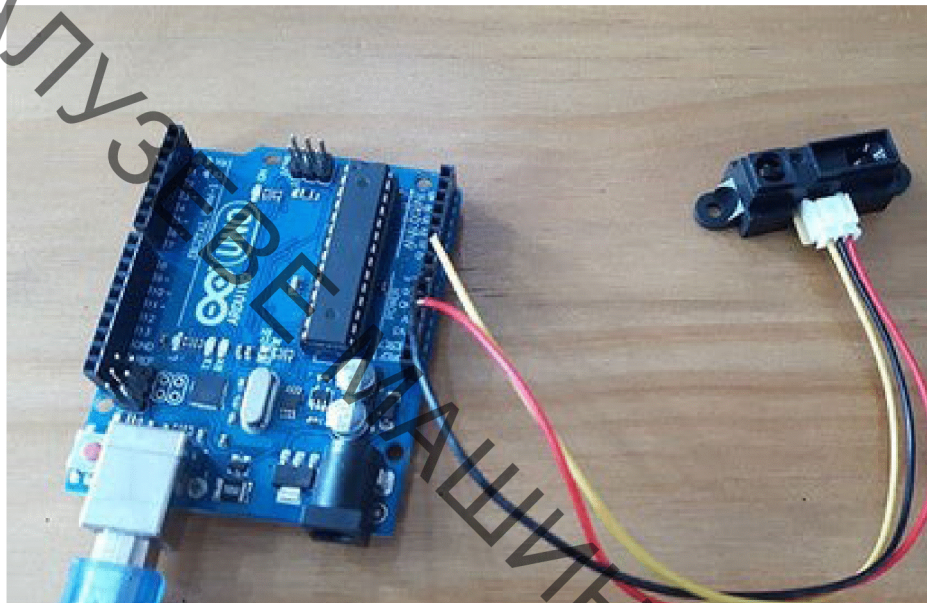


Рисунок 6.4.1 – Підключення модуля SharpIR 20150

Давач використовує 3-контактний роз'єм JST PH. Чорний провід на пін GRN, тобто мінус, червони на пін 5V. Обчислення можемо проводити вручну посилаючись на графік, наданий виробником, який зображено на рис. 6.4.2.

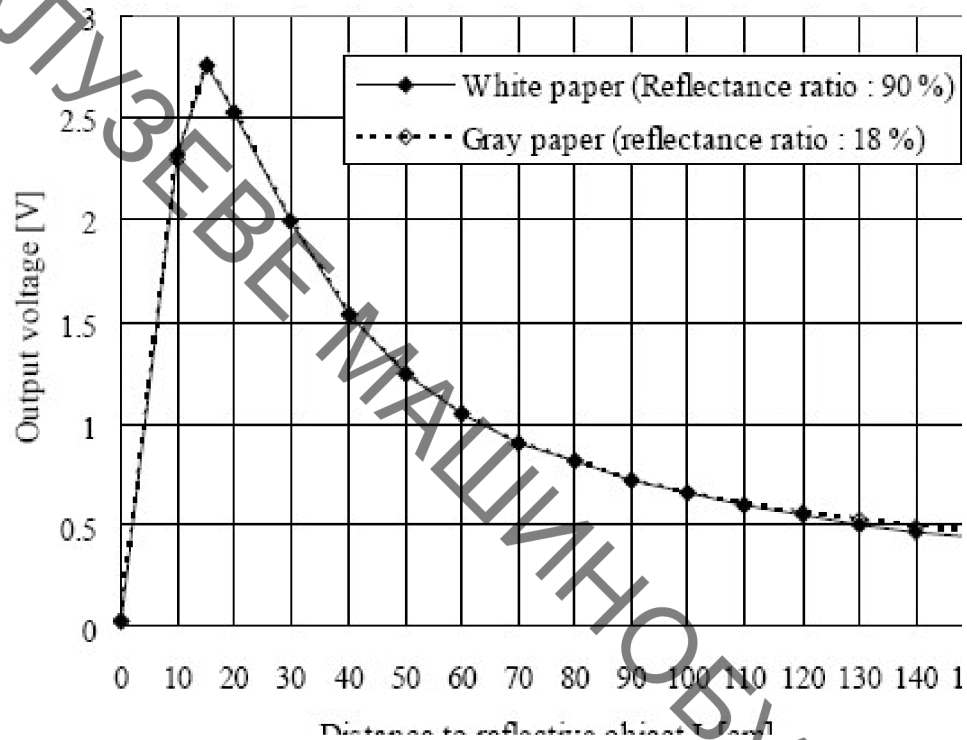


Рисунок 6.4.2 – Графік залежності вихідного сигналу датчика в залежності від відстані

Для підключення ІЧ модуля Sharp використаємо бібліотеку SharpIR.h. Ініціалізуємо датчик таким чином:

```
SharpIR SharpIR( A1 , 20150 ); // ІЧ датчик
```

Де A1 це пін Arduino, до якого ми підключаємо сигнальний провід жовтого кольору. Завдяки використанню бібліотеки, ми не навантажувемо код програми формулами вичислення відстані. В нас існує готова функція, яка видає нам готовий результат:

```
distanceNow = SharpIR.getDistance(); // отримуємо відстань
```

Отже, ми провели тестування майже всіх наявних в системі компонентів, провели їх підключення та пробний запуск. Модернізували підключення, та методи отримання значень датчиків, в залежності від потреби точності вимірювання та стабільності роботи.

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

Аналіз умов роботи на дільниці статичного випробування на розтяг металів, сплавів та інших матеріалів за допомогою розривної випробувальної машини P20. Дільниця знаходиться в аудиторії чотириповерхового навчального закладу.

На дільниці обладнання живиться від трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

При роботі виникає ряд фізичних та психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- зміна мікроклімату робочої зони;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочих місцях від працюючого обладнання;
- відсутність або недостатня освітленість природним світлом;
- недостатня освітленість робочої зони від світильників штучного освітлення;
- відлітаючі частини інструментів, який зруйнувався під час роботи;
- підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може відбутись через тіло людини;
- монотонність праці.

До небезпечних виробничих факторів відносять:

- дія електричного струму;
- психо-фізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори.

### 7.2 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць



Приміщення є вогнестійкими і оснащено приточно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує задовільний стан повітряного середовища.

Висота стелі має бути не меншою за 3,2 метри.

Підлогу роблять твердою, негорючою, не слизькою і рівною.

Вхідні двері оббиваються листовою-сталлю і відкриваються назовні. Інтер'єр приміщення дільниці фарбують в світлий колір з дифузійним відбиттям світла.

#### 7.2.1 Мікроклімат

Параметри, що характеризують мікроклімат в приміщенні є: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря.

Визначаємо оптимальні і допустимі норми цих параметрів в залежності від категорії робіт, періоду року [17]. Числові значення цих норм додано в таблицю 7.1. Для нормалізації мікроклімату в виробничому приміщенні необхідно улаштувати вентиляцію і опалення. Інтенсивність опромінення 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблиця 7.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура					Відносна вологість %		Швидкість руху пов. м/с	
		Допустима верхня		Допустима нижня			Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
		Пост. роб. місце	Непост. роб. місце	Пост. роб. місце	Непост. роб. місце					
	Оптимальна									

Холодн.	Па	17-19	23	24	17	15	40-60	75	0,2	≤0,3
Теплий	Па	20-22	28	29	18	17	40-60	70	0,3	0,4-0,2

Опромінення людського тіла не більше 25%.

Інтенсивність теплового випромінювання працюючих від відкритих джерел не перевищує 100 Вт/м<sup>2</sup>, при цьому випромінюванні не підлягає більше 25 % поверхні тіла і обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, в тому числі засобів захисту обличчя та очей.

Для захисту від шкідливих речовин застосовують комплекс організаційно-технічних санітарно-гігієнічних заходів:

- пристрій місцевої витяжної вентиляції для видалення шкідливих речовин від місць їх утворення;
- регулярне прибирання приміщення;
- застосування засобів індивідуального захисту (спеціальний одяг, захисні окуляри, респіратори та інше);
- профілактичні медичні огляди, виконання правил особистої гігієни;
- суворе дотримання правил поведінки з устаткуванням,

#### 7.2.2 Виробниче освітлення

Згідно [18]. Природне та штучне освітлення. дані роботи відповідають розряду зорової роботи IVa. Освітленість при системі одного загального освітлення 300 лк. Характеристика зорової роботи середньої точності. Найменший розмір розрізнення 1 мм.

На ділянці спроектоване устаткування для освітлення з урахуванням класифікації пожежовибухонебезпечних технологічних одиниць і устаткувань. Значення якісних та кількісних показників освітлення передбачені вимогами і наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Параметри штучного та природного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розрізн об'єкта, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характеристика фона	Штучне освітлення	Природне освітлення
					Освітленість, лк	КПО %
Малої точності	1	IV	a	малий	300	1,5

Природне освітлення на ділянці - бокове одностороннє. Розрахуємо коефіцієнт природної освітленості:

$$e_n = e_n \cdot t \cdot c_k = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 0,945 \approx 1\%, \quad (7.1)$$

де  $t = 0,9$  - коефіцієнт світового клімату для IV поясу;

$c_k = 0,7$  - коефіцієнт сонячності клімату, азимут  $90^\circ$ .

Характеристика штучних джерел світла наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Підбір штучних джерел світла

Характеристика зорової роботи	Освітленість при системі заломленого освітлення, лк	Мінімальний індекс кольоропередачі джерела світла для виробничої будівлі	Діапазон кольорової апаратури джерел світла для виробничої	Наведені типи джерел освітлення будівель

			будівлі	
Робота з ахроматичними об'єктами	150-300	30	3000-4500	ЛБ, ДБЛ

Люмінесцентні лампи встановлені на висоті 3,2 м. Внутрішня електропроводка виконана з надійною електро- та гідроізоляцією. Робоче місце робітника забезпечене місцевим освітленням. На дільниці передбачене аварійне освітлення, освітлює підлоги в основних місцях і переходах, відповідає - 0,5 лк.

### 7.2.3 Виробничий шум

Під час роботи на дільниці робітники піддаються впливу шуму. Джерелами шуму є: верстати, вентиляційна система, трансформатори, робота інструментів та інше обладнання.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях згідно [19]. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвук приведені в таблиці 7.7.

При надмірних шумах встановлено звукоізоляцію, кожухи, відбиваючі екрани, заглушки та інші пристрої. Шумові машини закриваються звукоізолюваними кожухами, які виготовлені з металу та облицьовані з середини звукопоглинаючими матеріалами, де неможливо ізолювати джерела шуму проводять акустичну обробку.

Таблиця 7.4 – Рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в дБ(А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання всіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях і на території	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

#### 7.2.4 Виробничі вібрації

Крім впливу шуму на ділянці робітники піддаються впливу вібрації. Захист від вібрації повинен задовольняти вимогам [20]. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Вібрації знижуються за допомогою амортизаторів, змашувальних матеріалів і реактивних гасників пульсацій. Для особистого захисту робітників застосовують спеціальне взуття на вібропоглинаючій підшві, рукавиці з м'якими налодонниками. На робітників може також діяти локальна та загальна вібрації. Загальна вібрація категорії "З" тип "а", критерії оцінки - границя зниження продуктивності праці.

Віробезпека праці на підприємстві забезпечується дотриманням правил умов експлуатації машин і введення процесів підтримання технічного стану машин, параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища, своєчасним проведенням планового і попереднього ремонту машин і обладнання.

Нормування вібрацій наведено в таблиці 7.5

Таблиця 7.5 – Характеристики вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативне коректування по частоті і еквівалентне коректування значень			
			Віброприскорення		Віброшвидкість	
			м/с <sup>2</sup> ·10 <sup>-2</sup>	дБ	м/с <sup>2</sup> ·10 <sup>-2</sup>	дБ
Локальна	—	Xп, Yа, Zп	2,0	12.5	2,0	112
Загальна	3 тип “а”	Z <sub>0</sub> .Y <sub>0</sub> .X <sub>0</sub>	0,1	100	0,2	92

### 7.3 Пожежна безпека

Роботи повинні проводитися у відповідності зі [21], з типовими правилами пожежної безпеки для промислових підприємств.

Категорії виробництв по пожежній небезпеці варто приймати по спеціальних відомчих переліках, затвердженим міністерствами у встановленому порядку.

Цехи і ділянки, де ведуться роботи відновлення та зміцнення, відносяться до категорії Г виробництв по пожежній і вибуховій небезпеці. Кількість вогнегасників і інших первинних засобів пожежегасіння для таких цехів і ділянок повинне вибиратися відповідно до зазначених вище Типовими правилами. Приміщення повинні бути побудовані з елементів конструкцій по IV категорії протипожежної безпеки (протипожежна стійкість не менш 2 год.).

Місця, відведені для установки устаткування повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів у радіусі не менш 5 м.

Таблиця 7.7– Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см.) для даного ступеня вогнестійкості будівель

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Східчасті площадки і клітки	Плити, настили інші несучі конструкції перекрить	Елементи покриття	
	Несучі	Самонесічі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
Па	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

Таблиця 7.8– Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного		
			Одноповерхових	Багатоповерхових	
				2 поверхи	3 і більше
Г	6	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.

Найбільш прийнятним способом пожежогасіння для проектуємої ділянки є спосіб розбавлення. Він полягає у тому, що при концентрації кисню у повітрі до 14-18% горіння припиняється. Досягається це за рахунок введення в повітря інертних газів, головним чином вуглекислого. Вуглекислим газом можна гасити все, включаючи електроустановки, що знаходяться під напругою. Для

пожежогасіння використовують рідку вуглекислоту. В якості ручних вуглекислотних вогнегасників застосовуються ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8.

За рекомендаціями технічних вимог з експлуатації установки в приміщеннях, де відбуваються роботи, необхідно мати вогнегасники ОУ-5 в кількості не менше 4 шт.

Відстань до евакуаційних виходів для категорії приміщень Г та III ступеня вогнестійкості не обмежується густиною людського потоку в загальному проході. Ширина шляхів евакуації у світлі повинно бути не менше 1 м, дверей - не менше 0,8 м. Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

#### 7.4 Техніка безпеки

До проведення механічних випробувань допускаються працівники віком не молодше 18 років, які попередньо пройшли спеціальне навчання та мають відповідний рівень кваліфікації на право виконання таких робіт, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з питань охорони праці та пожежної безпеки, а також навчання безпечним методам ведення таких робіт.

Працівники повинні один раз на 3 місяці проходити повторні інструктажі з питань охорони праці, а при виконанні разових робіт, безпосередньо не пов'язаних із посадовими обов'язками або обов'язками за спеціальністю, – цільовий інструктаж відповідно до характеру виконуваної роботи.



Перед початком виконання робіт, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання, працівник повинен пройти інструктаж для отримання І групи з електробезпеки та один раз на рік проходити перевірку знань відповідних нормативних актів з охорони праці та пожежної безпеки.

Кожен працівник, під час виконання своїх обов'язків, повинен:

- виконувати тільки ту роботу, яка передбачена посадовими чи робочими інструкціями або доручена йому керівником;
- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;
- знати будову та принцип роботи обладнання, яке експлуатується;
- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території університету;
- виконувати вимоги технічної документації під час проведення випробувань;
- знати і виконувати вимоги правил пожежної безпеки, знати місця знаходження первинних засобів пожежогасіння та уміти ними користуватися;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, вимоги санітарно-гігієнічних норм і правил, уміти надавати домедичну допомогу;
- користуватися передбаченими засобами колективного та індивідуального захисту.

Приймати їжу дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях.

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які за певних обставин можуть призвести до травматизму чи професійних захворювань, є такі:

- підвищена напруга електричної мережі;
- частини обладнання, які рухаються чи обертаються;
- частини зразків, що випробовуються;
- підвищені рівні шуму, вібрації.

Працівник безоплатно забезпечується спецодягом, спецвзуттям та засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до діючих Типових галузевих норм чи норм, передбачених Колективним договором.

У зоні розташування обладнання рух і прохід людей повинен бути заборонений шляхом встановлення відповідних огорожень і знаків безпеки.

Поверхні столів, захватів, усі місця і частини, які труться або обертаються, повинні змащуватися мастилами, які не містять кислот відповідно до вимог технічної документації.

Через 700 – 800 годин роботи на обладнанні необхідно замінити робочу рідину в гідросистемі, а через 3 – 4 місяці – перевірити затягування всіх нарізних з'єднань.

Працівник має право відмовитися від роботи, якщо умови її виконання створюють загрозу його здоров'ю або життю чи суперечать вимогам нормативних актів з охорони праці.

За порушення вимог цієї інструкції працівник несе адміністративну, дисциплінарну та карну відповідальність згідно діючого законодавства України.

#### Вимоги безпеки перед початком роботи

Працівник перед початком роботи повинен:

- одягнути та привести до ладу передбачений для виконання роботи спецодяг, спецвзуття та ЗІЗ;
- оглянути і привести в належний стан робоче місце, прибрати зайве;
- ознайомитися з роботою, яка буде виконуватися, підготувати зразки для випробування,
- котрі попередньо повинні бути очищені від пилу, бруду, мастила;
- підготувати необхідний інструмент, інвентар, пристосування, перевірити їх справність;
- переконатися в достатній освітленості робочого місця; при необхідності використання переносного світильника переконатися в його справності (при цьому напруга для його живлення не повинна перевищувати 42 В).

Перед запуском обладнання необхідно впевнитися в його справності шляхом проведення зовнішнього огляду та випробування, а саме:

- переконатися в цілісності ізоляції проводів та в тому, що неізольовані струмопровідні частини надійно закриті;
- перевірити наявність і справність заземлення обладнання;
- перевірити справність роботи пускових пристроїв; усі пускові пристрої слід забезпечити пристроями, які повинні унеможливити пуск обладнання сторонніми особами;
- перевірити наявність робочої рідини в гідросистемі та відсутність підтікань;
- переконатися у відсутності пошкоджень та слідів корозії на направляючих поверхнях губок і обойм, у разі їх наявності губки чи обойми необхідно замінити;
- перевірити змащення підшипників у шарнірах вимірювача міцності, у разі відсутності змазки її необхідно поновити.

При виявленні загрози безпечному проведенню роботи, необхідно доповісти про це безпосередньому керівнику і до роботи не приступати. Дозволяється приступати до роботи тільки після усунення виявлених недоліків.

Не дозволяється виконувати випробування на розривній машині у разі прострочення терміну державної повірки та відсутності відповідних записів в паспорті машини.

Вимоги безпеки під час роботи

Пуск в роботу обладнання слід виконувати відповідно до інструкції з його експлуатації.

Перед кожним включенням обладнання необхідно переконатися, що його пуск нікому не загрожує.

Перед початком проведення випробувань необхідно вибрати потрібний діапазон вимірювання навантаження, виходячи з розмірів зразка, що випробовується. При цьому необхідно, щоб максимальне вимірюване зусилля при випробуваннях знаходилося в третій четверті відповідної шкали навантаження.

Випробування зразків слід виконувати відповідно до технічного регламенту. Класти зразки не стелажі тільки за його призначенням. Не дозволяється торкатися до навантаженого обладнання та зразка з навантаженням для уникнення травмування в момент розриву зразка.

Не дозволяється проводити випробування у разі пошкодження чи деформації губок для затискання зразків, використовувати губки що мають тріщини, випробувати на стиснення зразки, кінці яких виходять за зовнішню окружність опор, опиратися на машину, підтримувати зразки руками. Навантаження під час випробувань на згин не має перевищувати 300 кН.

Під час випробування на розтягування не допускається використовувати зразки, які мають дефекти кромки, вибоїни та вм'ятини.

Випробувати на стиснення допускається зразки довжиною не менше 300 мм.

Не дозволяється випробувати на розтягування зразок, який не досить міцно тримається у вкладиші.

Забороняється:

- допускати на своє робоче місце сторонніх осіб;
- торкатися руками або сторонніми предметами рухомих частин обладнання;
- класти сторонні предмети на пульт керування обладнання і пристрій, що навантажує.
- залишати працююче обладнання без нагляду;
- самостійно виконувати ремонт обладнання.

Технічне обслуговування обладнання (змащення, підтягування болтів та інших з'єднань) слід проводити тільки за умови його повної зупинки та відключення від електричної мережі.

При будь-яких відхиленнях від нормального режиму роботи (дії електричного струму, нестійких показниках вимірювальних пристроїв, зупинці роботи вентилятора системи охолодження, появі запаху озону, горілого тощо)

експлуатацію обладнання необхідно припинити і повідомити про таке безпосереднього керівника.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Занести всі дані про випробування в спеціальний журнал.

Вимкнути обладнання, очистити його від пилу і сміття.

Привести робоче місце в належний стан. Зібрати та перенести у відведені місця інструменти, пристосування, зразки тощо.

Зняти спеціальний одяг, спецвзуття, інші ЗІЗ та помістити їх до місця зберігання.

Вимити руки, обличчя, при необхідності прийняти душ, переодягнутися у чистий одяг.

Доповісти керівнику про виявлені під час роботи недолки.

## 7.5 Висновки

В розділі охорони праці було проаналізовано умови праці, виконано необхідні розрахунки мікроклімату робочого середовища та складено список вимог експлуатації машини.

## 8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Найменування	Вартість, грн
Мікроконтролер Arduino	375
Енкодер	96
LCD 1602 i2c	64
Давач відстані SharpIR	315

Давач тиску Schneider Electric XMLP250BC21F	2640
Блок живлення	600
Кроковий двигун 57BYG250H-8	1600
Драйвер DM556D	500
Провід багатожильний	300
Корпус контролера	200
Гофра	400
Трійник гідравлічний	400
Муфта гнучка кулачкова	300
Вартість робіт	10000
Всього	17790

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході роботи був виконаний огляд існуючих систем модернізації та виделіні основні конструктивні моменти осучаснених систем. Було розроблено кілька варіантів структурних схем та проведений їхній аналіз, завдяки чому був визначений спосіб модернізації. Також були визначені технічні характеристики розривної машини Р-20, було підібрано потрібні компоненти для модернізації. Керуючись логікою роботи мікроконтролера, було складено систему алгоритмів та відображено їх в блок-схемах. Також написано програмне забезпечення для підтримки керування з ПК та керування «автономно», тобто на мікроконтролері.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Паспорт XMLP250BC21F [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product/download-pdf/XMLP250BC21F>
2. Перетворювач сигналу тиску, MBS 3000, 0.00 бар - 4.00 бар, 0.00 фунт на дюйм<sup>2</sup> - 58.02 фунт на дюйм<sup>2</sup> | Перетворювачі тиску | Перетворювачі тиску | Сенсорні рішення | Danfoss Ukraine Product Store [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://store.danfoss.com/ua/en/Sensing-Solutions/Pressure-Transmitters/Pressure-Transmitters%C2%A0/Pressure-transmitter%C2-MBS-3000%C2-0-00-bar---4-00-bar%C2-0-00-psi---58-02-psi/p/060G1100>
3. Датчики давления | Поставки промышленного контрольно-измерительного оборудования - Сенсор Автоматика [Електроний ресурс] – Режим доступу: [https://sensor-automatic.ru/catalog/datchiki-davleniya?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Datchiki\\_davleniya\\_MSK\\_Gpoisk&utm\\_content=553091587113&utm\\_term=dmp%203301](https://sensor-automatic.ru/catalog/datchiki-davleniya?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Datchiki_davleniya_MSK_Gpoisk&utm_content=553091587113&utm_term=dmp%203301)
4. Р 20 разрывная машина – Разрывная машина Р-20 гидравлическая универсальная - ТеплоЭнергоРемонт Автоматика [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://90zavod.ru/raznoe/r-20-razryvnaya-mashina-razryvnaya-mashina-r-20-gidravlicheskaya-universalnaya.html>
5. Универсальные испытательные машины (разрывные машины) / Хабр [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/400043/>
6. МАШИНА РАЗРЫВНАЯ [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://asma.com.ua/files/66/1511094200to-r-10,20,50,100m1.pdf>
7. НИИАчермет, модернизация разрывных машин, разрывная машина, компьютеризация разрывной машины, Днепропетровск, Украина



[Электроний ресурс] – Режим доступа: <http://automation.dp.ua/production.php-id=5.htm>

8. Разрывная машина Р-20 гидравлическая универсальная Украина [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://rscim.ru/produkcija/razrivnie-mashini/tip-r/r20>

9. Arduino – Home [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/>

10. GitHub - qub1750ul/Arduino\_SharpIR: Arduino library that allows to acquire distance data from Sharp IR sensors [Электроний ресурс] – Режим доступа: [https://github.com/qub1750ul/Arduino\\_SharpIR](https://github.com/qub1750ul/Arduino_SharpIR)

11. GyverLibs/GyverEncoder.h at master · AlexGyver/GyverLibs · GitHub [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/AlexGyver/GyverLibs/blob/master/GyverEncoder/GyverEncoder.h>

12. LCD 1602 – подключение к Arduino – блог [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://voltiq.ru/lcd-1602-and-arduino/>

13. Библиотека PID регулятора для Arduino v3.3 | AlexGyver [Электроний ресурс] – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/gyverpid>

14. Arduino 4-20 мА подключение датчика уровня [Электроний ресурс] – Режим доступа: [http://geekmatic.in.ua/arduino\\_4-20ma\\_tutorial](http://geekmatic.in.ua/arduino_4-20ma_tutorial)

15. Инфракрасный датчик расстояния: описание, подключение, схема, характеристики | ВИКИ [Электроний ресурс] – Режим доступа:

16. <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/infrakrasnyj-datchik-rasstojaniya/>

17. C#: Пишем программу для связи Arduino с компьютером от А до В - видео - Разработка на C# [Электроний ресурс] – Режим доступа:

<https://12n.ru/video/19082-c-pishem-programmu-dlja-svjazi-arduino-s-kompyuterom-ot-a-do-v-video.html>

18. Пример 40. Шаговый двигатель NEMA17 и драйвер TB6600 [База знаний] [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://ampermarket.kz/base/ex40-nema17-tb6600/>

19. ПИД регулятор: что это такое, регулирование температуры ПИД регулятором [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://odinelectric.ru/kipia/chto-takoe-pid-regulyator-dlya-chajnikov>

20. Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання — Вікіпедія [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)

21. Работа по таймеру в Arduino. GyverTimer [12.11.19] | AlexGyver [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://alexgyver.ru/gyvertimer/>

22. МАШИНЫ РАЗРЫВНЫЕ P-5, P-10, P-20, P-50, P PDF Free Download [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://docplayer.com/84227702-Mashiny-razryvnye-r-5-r-10-r-20-r-50-r-100.html>

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

ДОДАТКИ

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ГМ  
д. т. н., професор Поліщук Л.К.,

\_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На модернізацію установки для дослідження механічних властивостей  
матеріалів

Розробив студент  
Спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»  
Заєць Євгеній Сергійович  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021  
Керівник: к.т.н., доцент  
Слабкий Андрій Валентинович

### **1 Найменування і область застосування**

Найменування – установка для дослідження механічних властивостей матеріалів

### **2 Підстава для виконання роботи**

Підставою для розробки даного дипломного проекту є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу та наказ ректора по ВНТУ про закріплення тем.

### **3 Мета і призначення дослідження**

Мета модернізувати установку для дослідження механічних властивостей типу Р20 із забезпеченням підвищення точності досліджень шляхом розробки системи вимірювання та керування за допомогою числового програмного керування.

### **4 Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки

4.1 ГОСТ 7855-74. Библиографическая запись. Машины разрывные Р-5, Р-10, Р-20, Р-50, Р-100. – Взамен ГОСТ 3761-37; введ. 1974-05-29. – Москва : Госстандарт СССР, 1974. – 5 с. – (Государственный стандарт).

4.2 200 kN Servohydraulic Testing Machine with Hydraulic Used and Digital Controler Type LF-200-S [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.walterbai.com/page/products/Used\\_Machines/Type\\_LF-200-S.php](https://www.walterbai.com/page/products/Used_Machines/Type_LF-200-S.php). – Назва з екрана.

4.3 Разрывная машина ИР 5145-500 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://usk.ua/razr\\_mash\\_ir5145-500.html](http://usk.ua/razr_mash_ir5145-500.html). – Назва з екрана.

4.4 Киркач Н., Баласанян Р. Расчет и проектирование деталей машин. Том 2. Киев: “Выща школа”, 1988-140с.

4.5. Кузнечно-штамповочное оборудование: Учебник для машиностроительных вузов / А. Н. Банкетов и др.. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.

4.6 Патент Российской Федерации RU 2642557, G01N3/12. Машина испытательная сервомеханическая для механических испытаний образцов материалов на растяжение, сжатие и изгиб/ Е.Н. Потаенко, В.С. Шахназарян, Э.Х. Шайхлисламов. - № RU 2687296 С1; заяв. 09.02.2018, опубл. 13.05.2019. – Бюл. № 14.

### **5 Вихідні дані для розробки робочого органу:**

- 1) Граничне навантаження, створюване машиною, кН – 200;
- 2) Діапазони вимірювань, кН – 4...20 та 20...200;
- 3) Швидкість руху активного захвату без навантаження, мм/хв – 5...200;
- 4) Найбільша відстань між захватами, вкдючно з робочим ходом поршня, мм – 900;
- 5) Відстань від осі зразка до колони, мм – 252;
- 6) Потужність, що споживається машиною, кВт – 2,61.

#### 5.1 Технічні вимоги

- регулювання органів управління – безступінчасте;
- вимоги монтажноі придатності до продукції – поставка в зібраному вигляді;
- маса продукції – до 4000 кг;
- захист від вологи, шкідливих випаровувань та корозії, здійснюється за рахунок герметичності та покриттів;

- складові частини стану взаємозамінні  
- деталі повинні виготовлятися з матеріалів стійких до дії миючих засобів, мастила

- одиничний вид виробництва деталей, запасні частини не передбачаються

#### 5.2 Вимоги до надійності.

довговічність – не менше 6 тис. год; безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год; збереженість – повинна забезпечуватися працездатність верстатного комплексу в режимі очікування, роботи, консервації; ремонтпридатність – компоновочне рішення повинно бути таким, що забезпечує легкодоступність до деталей, які вірогідно можуть мати найменший термін служби та відносно простий їх ремонт.

5.3 Вимоги до технологічності розробки, виробництва і експлуатації - конструкція деталей стана повинна бути такою, щоб забезпечувати їх виготовлення без застосування спеціального обладнання і устаткування.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації, вимоги до використання стандартних, уніфікованих і запозичених складальних одиниць і деталей при розробці, показники рівня уніфікації – по можливості під час модернізації розривної машини використовувати уніфіковані деталі і стандартні вироби.

5.5 Вимоги безпеки життєдіяльності – забезпечується безпека під час монтажу, і ремонті. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування робочої рідини у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонті пристрою.

5.6 Конструкція повинна відповідати естетичним і ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та управлінні.

5.7 Матеріали, що використовуються для деталей слід вибирати відповідно до рекомендацій.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту:

- умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися використання продукції з заданими технічними показниками – продукція призначена для використання у середньопиротних кліматичних умовах;
- час підготовки продукції до використання після транспортування і зберігання – 10 год;
- вид обслуговування періодичний;
- періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – 2 дні (один раз в три місяці);

5.9 Вимоги по транспортуванню і збереженню

- можливість транспортування на будь – якому виді транспортних засобів
- захист від ударів під час завантаження і розвантаження
- зберігання на складі готової продукції
- зберігання у законсервованому вигляді
- складування на стелажах.

**6 Економічні показники:**

- орієнтований термін окупності витрат на розробку – 0,5 роки,
- освоєння виробництва продукції,
- економічна перевага розробленої продукції у порівнянні з кращими зразками.

**7 Виконавці НДР:** студент спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» Заєць Євген Сергійович

**8 Етапи НДР і терміни їх виконання:**

- теоретичний аналіз існуючих модернізації подібних установок для дослідження механічних властивостей матеріалів;



- розробити апаратну частину та відповідне програмне забезпечення;
- обґрунтувати вибір компонентів для побудови розробленої вимірювально-реєструючої-керувальної системи;
- охорона праці;
- висновки.
- оформлення текстових документацій та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

### **9 Порядок контролю і прийомки**

- попередній захист проекту
- захист проекту перед МКР

Додаток Б

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Додаток В (обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЗРАЗКИ ЯКІ МОДЕРНІЗУЮТЬСЯ ІНШИМИ УСТАНОВАМИ



**МОДЕРНИЗАЦИЯ РАЗРЫВНОЙ  
МАШИНЫ ТИПА МР**



## Додаток Г

## Лістинг програми мікроконтролера

```
#include <GyverEncoder.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <GyverPID.h>
#include <SharpIR.h>

#define LCDBackl 0 // автовідключення дисплея 1 - дозволено
#define backlTimeout 60UL // таймаут відключення дисплея в секундах
#define encType 1 // тип енкодера
#define encReverse 0 // 1 - реверс енкодера, 0 - немає
#define driverVersion 1 // 0 - маркування драйвера закінчується на 4AT, 1 - на
4T
#define PUL 5 // піни крокового двигуна
#define DIR 6
#define ENA 7
#define SW 8 // піни енкодера
#define DT 9
#define CLK 10
#define MaxOutput 300 // максимальна кількість кроків двигуна ****
Виміряти при запуску ****
#define MinOutput 0 // мінімальний крок
#define sensorPin A0 // пін давача тиску
#define ir A1 // давач Sharp
#define model 20150 // модель давача
```

```
#define multiplier 2 // коефіцієнт помилки навантаження
#define multiplierSafety 5 // коефіцієнт помилки безпеки
#define StepReverse 0 // рух крокового двигуна, поміняти при неправильному
напрямку руху
#define loadIndex 1 // сила в залежності від тиску, один попугай
0,254323499 бар
#define manualCoef 5 // крок ручного налаштування
#define pauseSignal 2000
#define pauseAfter 10
```

```
SharpIR SharpIR(ir, model);
```

```
GyverPID pid(1 , 1 , 1 , 250); /// налаштувати коефіцієнти
```

```
#if (driverVersion)
```

```
LiquidCrystal_I2C LCD(0x27, 16, 2);
```

```
#else // Вибір адреси дисплея по шині I2C
```

```
LiquidCrystal_I2C LCD(0x3f, 16, 2);
```

```
#endif
```

```
Encoder enc1(CLK, DT, SW); // ініціалізація енкодера
```

```
unsigned int manualProcent = 0;
```

```
uint32_t pidTimer;
```

```
uint32_t timerDraw;
```

```
uint32_t testingTimer;
```

```
uint32_t countdownTimer; // таймер отрисовки LCD
uint32_t countdownTimerTesting; // таймер витримки зразка
uint32_t backLightTimer; // таймер підсвічування дисплею
unsigned int hours = NULL; // данні про час роботи: години
unsigned int minutes = NULL; // хвилини
unsigned int seconds = NULL; // секунди
int loadMaximum = NULL; // навантаження
int currentSet = 0; // вибір налаштування
int hourSet = 0; // години для ручого керування з пристрою
int minuteSet = 0; // хвилини для ручого керування з пристрою
int secondSet = 0; // секунди для ручого керування з пристрою
long loadMaximumSet = 0; // навантаження для ручного керування з пристрою
long currentLoad = 0; // навантаження в даний момент
long loadPrevious = 0;
double distanceStarted = 0; // вимір деформації нульова точка
double distanceNow = 0.00; // лінійна деформація кінцева точка
double deformation = 0; // деформація чисте значення
int steps = 0; // потрібна кількість кроків
int stepsPrevious = 0; // положення двигуна
unsigned int countdownHours = 0; // таймер зворотнього відліку
int countdownMinutes = 0;
int countdownSeconds = 0;

boolean backLightState = true; // прапорець підсвічування дисплею
```



```
boolean isConnected = false; // прапорець підключення до ПК  
boolean isStarted = false; // прапорець початку роботи  
boolean availableToStart = false; // прапорець дозволу старту  
boolean isTesting = false; // прапорець виконання досліду
```

```
void setup()  
{  
  Serial.begin(250000); // серійний порт  
  
  pinMode(11, OUTPUT);  
  digitalWrite (11, HIGH);  
  pid.setLimits(MinOutput,MaxOutput);  
  
  pinMode (PUL, OUTPUT); // налаштування пінів крокового двигуна  
  pinMode (DIR, OUTPUT);  
  pinMode (ENA, OUTPUT);  
  
  LCD.init(); // ініціалізація дисплею  
  LCD.backlight(); // увімкнення підсвітки дисплею  
  
  enc1.setType(encType); // тип енкодера  
  if (encReverse) enc1.setDirection(REVERSE); // ініціалізація енкодера  
  LCD.clear();  
  drawLabels();  
  changeSet();
```

```
}  
  
void loop() {  
    encoderTick();  
    connecting();  
    testing();  
    backlightTick();  
}  
  
void connecting(){    /// прийом команд із ПК через серійний порт  
    String data;  
    if (Serial.available() )  
        data = Serial.readString();  
    if (data.equals("PC is connected!"))  
    {  
  
        isConnected = true;  
        currentSet = 4;  
        LCD.clear();  
        drawLabels();  
    }  
    if(data.equals("PC disconnected!"))  
    {  
        isConnected = false;  
        currentSet = 0;  
        LCD.clear();  
    }  
}
```

```
drawLabels();
changeSet();
}
if (data.equals("Start!"))
{
if (availableToStart)
{
currentSet = 5;
countdownSeconds = seconds;
countdownMinutes = minutes;
countdownHours = hours;
startTesting();
}
}
if (data.equals("Stop!"))
stopTesting();

if (data.equals("Manual control is activated!"))
currentSet = -1;

settings(data.toInt());
}
```

```
void settings (int data){ // прийом числових даних для дослідження із ПК
if (isConnected){
```

```
if (hours != NULL)
{
    if (minutes != NULL)
    {
        if (seconds != NULL)
        {
            if (loadMaximum == NULL)
            {
                loadMaximum = data;
                pid.setpoint = data;
            }
            availableToStart = true;
        }
        else
            seconds = data;
    }
    else
        minutes = data;
}
else
    hours = data;
}

void stopTesting() // зупинка роботи
{
    hours = NULL;
}
```

```
minutes = NULL;
seconds = NULL;
loadMaximum = NULL;
isStarted = false;
isTesting = false;
availableToStart = false;
Serial.println("Ready testing!");
doSteps(true);
printData();
}

void backlightTick() { // підсвічування дисплею таймер вимкнення
  if (LCDBackl && backLightState){
    if (millis() - backLightTimer >= backlTimeout * 1000) {
      backLightState = false;
      LCD.noBacklight();
    }
  }
}

void backlightOn() { // увімкнути підсвітку та обнулити таймер
  backLightState = true;
  backLightTimer = millis();
  LCD.backlight();
}

void encoderTick() // відпрацювання роботи енкодера
```

```
{
enc1.tick();
if (!isConnected)
if (enc1.isTurn())
{
if (backLightState )
{
backLightTimer = millis();
if (!isConnected || !isStarted)
{
if (enc1.isRight())
{
if (++currentSet >= 3 ) currentSet = 3;
}
else
if (enc1.isLeft())
{
if (--currentSet < -1) currentSet = -1;
}

if (enc1.isRightH())
changeSettings(1);
else
if (enc1.isLeftH())
changeSettings(-1);

drawLabels();
```

```
changeSet();
    }
}
else
{
    if (!backLightState)
        backlightOn();
}
}
if (enc1.isDouble())
{
    if (!isConnected)
    {
        if (loadMaximumSet != 0)
            if ((hourSet > 0) || (minuteSet > 0) || (secondSet > 0))
            {
                hours = hourSet;
                minutes = minuteSet;
                seconds = secondSet;
                loadMaximum = loadMaximumSet;
                pid.setpoint = loadMaximum;
                countdownSeconds = seconds;
                countdownMinutes = minutes;
                countdownHours = hours;
                availableToStart = true;
                startTesting();
            }
        }
    }
}
```

```
        countdownTimerTesting = millis();
    }
}

}

if (enc1.isHelded())
{
    if (currentSet == -1)
        manualProcent = 0;
    if (currentSet == 4)
    {
        Serial.println("Disconnect!");
        isConnected = false;
        currentSet = 0;
        LCD.clear();
        drawLabels();

    }

    if (currentSet == 5)
    {
        stopTesting();
        isTesting = false;
        currentSet = 4;
        LCD.clear();
        drawLabels();
    }
}
```



```
if (currentSet <4)
{
    hourSet = 0;
    minuteSet = 0;
    secondSet = 0;
    loadMaximumSet = 0;
    LCD.clear();
    currentSet = 0;
    drawLabels();
    changeSet();
}
}
}
```

```
void changeSettings(int increment) { // зміна вибраного налаштування та
обмеження за межами
    if (currentSet == -1)
        manualProcent += increment * manualCoef;
    if (manualProcent > 100)
        manualProcent = 100;
    if (manualProcent < 0 )
        manualProcent = 0;
```

```
if (currentSet == 0) {
loadMaximumSet += increment;
if (loadMaximumSet >= 200000) loadMaximumSet = 200000;
if (loadMaximumSet < 0) loadMaximumSet = 0;

} else {
if (currentSet == 1) {
hourSet += increment;
} else if (currentSet == 2) {
minuteSet += increment;
} else if (currentSet == 3) {
secondSet += increment;
}
if (secondSet > 59) {
secondSet = 0;
minuteSet++;
}
if (minuteSet > 59) {
minuteSet = 0;
hourSet++;
}
if (secondSet < 0) {
if (minuteSet >= 0) {
secondSet = 59;
minuteSet--;
} else secondSet = 0;
}
}
```

```
if (minuteSet < 0) {
if (hourSet > 0) {
minuteSet = 59;
hourSet--;
} else minuteSet = 0;
}
if (hourSet < 0) hourSet = 0;
}
LCD.clear();
drawLabels();
}
void changeSet() { // в залежності від вибраного налаштування малюємо
вказівник в різних місцях
switch (currentSet) {
case -1: break;
case 0: drawArrow(5, 0);
break;
case 1: drawArrow(5, 1);
break;
case 2: drawArrow(8, 1);
break;
case 3: drawArrow(11,1);
break;
case 4: drawArrow (5, 1);
break;
```

```

    }
    }

uint32_t hms_to_ms() {
    return ((hours * 3600 + minutes * 60 + seconds)*1000);
}

// отрисовка стрелки и двоеточий
void drawArrow(byte col, byte row) { // пробіли та дві крапки в постійних
місцях та вказівник
    if (currentSet < 4)
    {
        LCD.setCursor(5, 0); LCD.print(" ");
        LCD.setCursor(5, 1); LCD.print(" ");
        LCD.setCursor(8, 1); LCD.print(":");
        LCD.setCursor(11, 1); LCD.print(":");
    }
    LCD.setCursor(col, row); LCD.write(126); // Стрілка
}

void drawLabels() // друк на дисплеї
{
    if(currentSet >=0)

```

```
{
  if (!isTesting)
  {
    if (!isConnected)
    {
      LCD.clear();
      LCD.setCursor(0, 0);
      LCD.print("Load:");
      LCD.setCursor(6, 0);
      LCD.print(loadMaximumSet);
      LCD.setCursor (0, 1);
      LCD.print("Time:");
      LCD.setCursor(6, 1);
      if (hourSet < 10) LCD.print(0);
      LCD.print(hourSet);
      LCD.setCursor(9, 1);
      if (minuteSet < 10) LCD.print(0);
      LCD.print(minuteSet);
      LCD.setCursor(12, 1);
      if (secondSet < 10) LCD.print(0);
      LCD.print(secondSet);
    }
  }
  else
  {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0, 0);
    LCD.print("Connected");
  }
}
```

```
LCD.setCursor(6,1);  
LCD.print ("Disconnect");  
changeSet();  
}  
}  
else  
{  
LCD.clear();  
  
}  
}  
else  
{  
LCD.clear();  
LCD.setCursor(0, 0);
```

```
LCD.print("Load:");  
LCD.print(currentLoad);  
LCD.setCursor (12 , 0);  
LCD.write(126);  
LCD.print(manualProcent);
```

```
LCD.setCursor(0, 1);
```

```
LCD.print("Def:");  
deformation = SharpIR.getDistance();  
LCD.print(deformation);
```

```
printData();

    }
}
void startTesting() // початок роботи, заповнення всіх даних для досліду
{
    if (availableToStart)
    {

        testingTimer = millis();
        countdownTimer = millis();
        isStarted = true;
        currentSet = 5;
        LCD.clear();
        drawLabels();
        countdown();
        distanceStarted = SharpIR.getDistance();
    }

}

void countdown()
```

```
{
LCD.clear();
LCD.setCursor(0,0);
LCD.print(currentLoad);
LCD.setCursor(7, 0);
LCD.print(deformation);
// if (isTesting)
{
if ((millis() - countdownTimer) > 950)
{
countdownSeconds--;
countdownTimer = millis();
}

}
if ((millis() - countdownTimerTesting) > hms_to_ms())
stopTesting();
if (countdownSeconds < 0) {
if (countdownMinutes > 0) {
countdownSeconds = 59;
countdownMinutes--;
} else countdownSeconds = 0;
}
if (countdownMinutes < 0) {
if (countdownHours > 0) {
countdownMinutes = 59;
countdownHours--;
```



```
        } else countdownMinutes = 0;
    }
    if (countdownHours < 0)
        countdownHours = 0;
    LCD.setCursor(6, 1);
    if (countdownHours < 10) LCD.print(0);
    LCD.print(countdownHours);
    LCD.print(":");
    if (countdownMinutes < 10) LCD.print(0);
    LCD.print(countdownMinutes);
    LCD.print(":");
    if (countdownSeconds < 10) LCD.print(0);
    LCD.print(countdownSeconds);

}
void printData()
{
    Serial.println(currentLoad);
    Serial.println(deformation);

}
void testing()
{if (currentSet == -1)
{
```

```
if (millis()-timerDraw > 250)
{
    drawLabels();
    timerDraw = millis();
    printData();

    currentLoad = analogRead(sensorPin) * loadIndex;
}
currentLoad = analogRead(sensorPin) * loadIndex;
if (Serial.available())
    manualProcent = Serial.parseInt();
    steps = manualProcent /100 * MaxOutput;
doSteps(false);

}
if(isStarted)
{
    settingLoadAndDeformation();
    if (millis()-timerDraw > 250)
    {
        timerDraw = millis();
        countdown();
    }

    safety();
```

```
}}  
void settingLoadAndDeformation(){  
  if ((millis()- pidTimer )> 250 )  
  {  
    loadPrevious = currentLoad;  
    currentLoad = analogRead(sensorPin) * loadIndex;  
    pid.input = currentLoad;  
    steps = pid.getResult();  
    doSteps(false);  
    pidTimer = millis();  
    distanceNow = SharpIR.getDistance();  
    deformation = distanceStarted - distanceNow;  
    printData();  
    if (((loadMaximum - loadIndex*multiplier) < currentLoad) && (currentLoad <  
(loadMaximum + loadIndex*multiplier) ))  
    {  
      isTesting = true;  
      countdownTimerTesting = millis();  
    }  
    else  
      isTesting = false;  
  }  
}
```

```
}  
void doSteps (boolean zero){  
  if (zero)  
  {  
  
    for (int i=0;i < stepsPrevious; i++) // виходимо в "нуль" дроселя  
    {  
      digitalWrite(DIR,HIGH);  
      digitalWrite(ENA,HIGH);  
      digitalWrite(PUL,HIGH);  
      delayMicroseconds(pauseSignal);  
      digitalWrite(PUL,LOW);  
      delayMicroseconds(pauseAfter);  
    }  
  
  }  
  else  
  
  { if ((steps - stepsPrevious) > 0)  
    for (int i=0;i < (steps - stepsPrevious); i++) // Вперед  
    {  
      digitalWrite(DIR,LOW);  
      digitalWrite(ENA,HIGH);  
      digitalWrite(PUL,HIGH);
```

```
        delayMicroseconds(pauseSignal);
        digitalWrite(PUL,LOW);
        delayMicroseconds(pauseAfter);
    }
else
if ((steps - stepsPrevious) < 0)
for (int i=0;i < (stepsPrevious - steps); i++) // Назад
{
    digitalWrite(DIR,HIGH);
    digitalWrite(ENA,HIGH);
    digitalWrite(PUL,HIGH);
    delayMicroseconds(pauseSignal);
    digitalWrite(PUL,LOW);
    delayMicroseconds(pauseAfter);
}
stepsPrevious = steps;

stepsPrevious = steps;
}
}
```

```
void safety ()  
{  
    //if ((loadPrevious -currentLoad ) > loadIndex*(multiplier+multiplierSafety))  
        //stopTesting();  
  
}
```

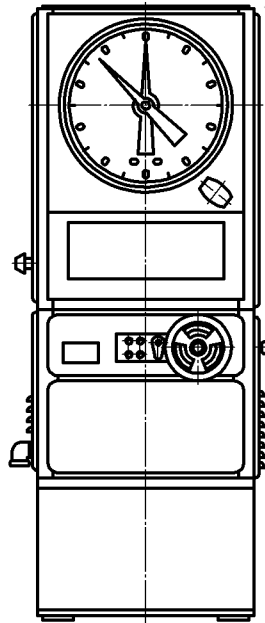
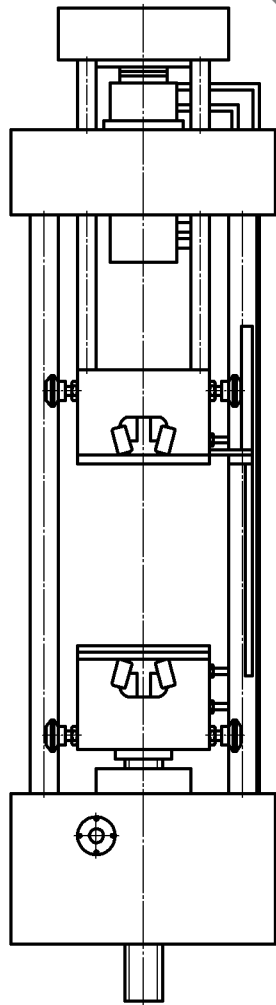
# ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

08-271МКР.0100.001 П/А

				08-271МКР.0100.001 П/А					
№	Відомості	№	Відомості	№	Відомості	№	Відомості	№	Відомості
01	Відомості	02	Відомості	03	Відомості	04	Відомості	05	Відомості
06	Відомості	07	Відомості	08	Відомості	09	Відомості	10	Відомості
11	Відомості	12	Відомості	13	Відомості	14	Відомості	15	Відомості
16	Відомості	17	Відомості	18	Відомості	19	Відомості	20	Відомості
21	Відомості	22	Відомості	23	Відомості	24	Відомості	25	Відомості
26	Відомості	27	Відомості	28	Відомості	29	Відомості	30	Відомості
31	Відомості	32	Відомості	33	Відомості	34	Відомості	35	Відомості
36	Відомості	37	Відомості	38	Відомості	39	Відомості	40	Відомості
41	Відомості	42	Відомості	43	Відомості	44	Відомості	45	Відомості
46	Відомості	47	Відомості	48	Відомості	49	Відомості	50	Відомості
51	Відомості	52	Відомості	53	Відомості	54	Відомості	55	Відомості
56	Відомості	57	Відомості	58	Відомості	59	Відомості	60	Відомості
61	Відомості	62	Відомості	63	Відомості	64	Відомості	65	Відомості
66	Відомості	67	Відомості	68	Відомості	69	Відомості	70	Відомості
71	Відомості	72	Відомості	73	Відомості	74	Відомості	75	Відомості
76	Відомості	77	Відомості	78	Відомості	79	Відомості	80	Відомості
81	Відомості	82	Відомості	83	Відомості	84	Відомості	85	Відомості
86	Відомості	87	Відомості	88	Відомості	89	Відомості	90	Відомості
91	Відомості	92	Відомості	93	Відомості	94	Відомості	95	Відомості
96	Відомості	97	Відомості	98	Відомості	99	Відомості	100	Відомості

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАЛЛЯ

08-27.МР.01.00.002.В3



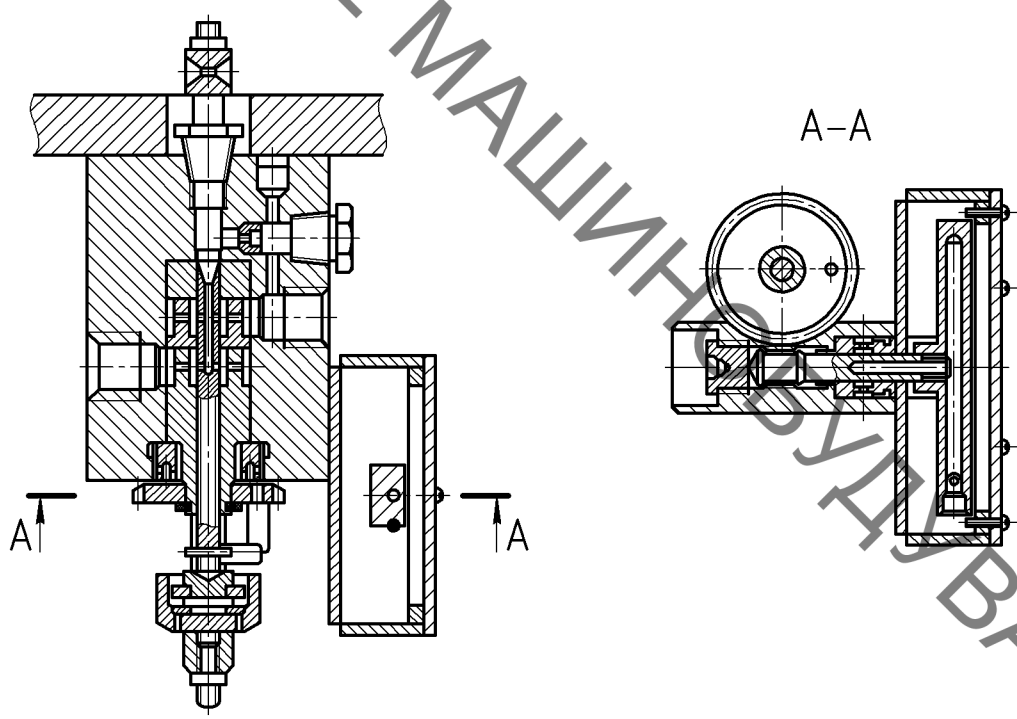
1. Граничне навантаження стандартне машини кВт 200
  2. Чиста білезанова потужність кВт 1
  3. Діапазон вимірювань кВт 0...200
  4. Допустима похибка вимірювання зусилля %  $\pm 1$
  5. Швидкість руху активного захвату без навантаження мм/хв 5-200
  6. Допустима похибка діаметра захвату при переміщенні активного захвату в діапазоні  $\leq 150$  мм, %  $\pm 10$
  7. Найбільша відстань між захватами машини з рівним ходом парички мм 900
  8. Найбільша відстань між активними захватами (парички) мм 300
  9. Відстань від осі з'язки до колони мм 252
  10. Потужність, що споживається кВт 2,61
  11. Габаритні розміри машини мм
- Довжина 1553  
 Ширина 972  
 Висота (без врахування робочого ходу парички) 1822

				08-27.МР.01.00.002.В3			
				Розривна машина			
				1822		174	
				81153			
				ст. збр. 1774-210п			
				Листопад			
				Формат А1			



ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

08-27.МКР.01.00.003 СК



				08-27.МКР.01.00.003 СК			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Стабілізатор тиску		
Разраб.	Засць Є.С.						
Проб.	Слабкий А.В.				Лист	Листов	1
Т.контр.					ВНТУ, ст. гр. 1ГМ-20М		
Н.контр.	Слабкий А.В.				Формат А3		
Утв.	Полещук Л.К.				Копіював		

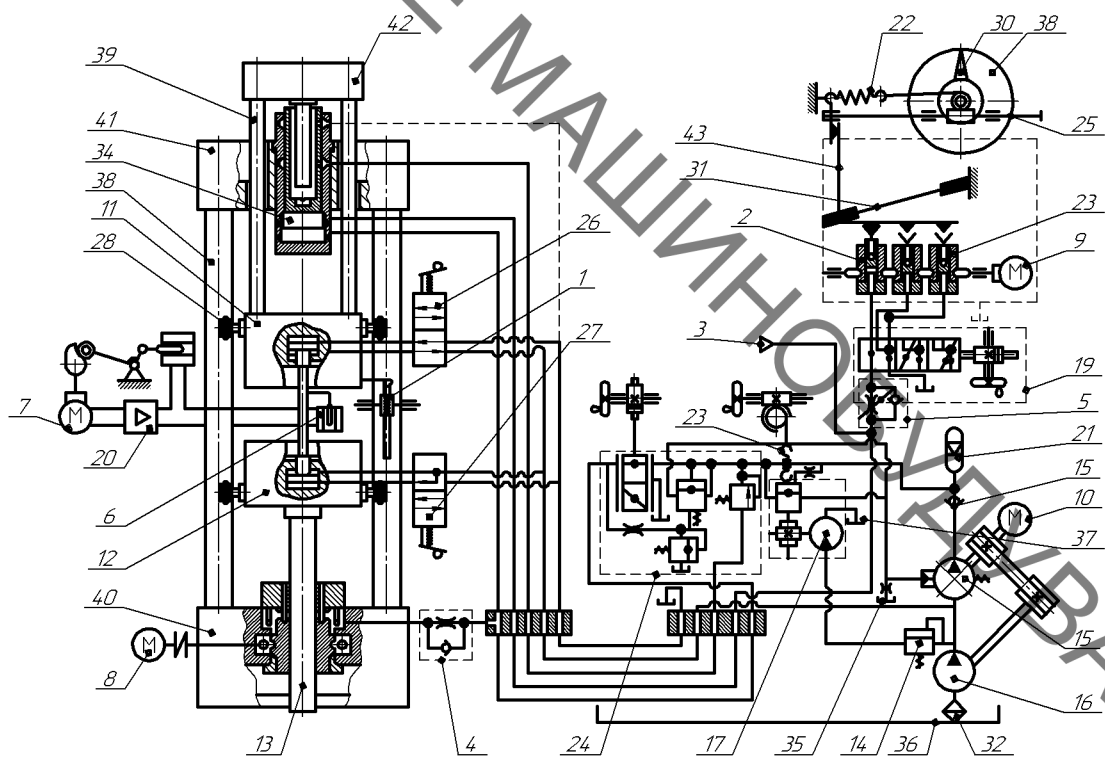
КМПААС-30 v20 Уведомляється © 2021 000 "АСКОН-Системи проєктування", Росія. Все права захищено.  
 Версія: 01.00.003 СК  
 Дата: 15.08.2021  
 Автор: Слабкий А.В.  
 Інше: № 1508/2021

Не для комерційного використання



ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУВАННЯ

08-27.МКР.01.00.005 СК



				08-27.МКР.01.00.005 СК			
№	Маса	№	Важки	Група	Маса	Лит	Масштаб
Матриця		Матриця	Л.Л.				1:1
Проб		Складний	А.В.			Лист	Листов 1
Г.контр.							
Н.контр.		Складний	А.В.				ВНТУ
Метр		Позвижки	Л.К.				ст. зр. 11М-20М
				Копія		Формат А2	

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
	A2				08-27.МКР.01.00.005 СК	Гідрокінематична схема розривної машини		
						<u>Складальні одиниці</u>		
Справ. №				1	08-27.МКР.01.00.001	Датчик переміщення	1	
				2	08-27.МКР.01.00.002	Пружина	1	
				3	08-27.МКР.01.00.003	Датчик тиску	1	
				4	08-27.МКР.01.00.004	Демпфер	1	
				5	08-27.МКР.01.00.005	Демпфер	1	
				6	08-27.МКР.01.00.006	Екстензометр	1	
				7	08-27.МКР.01.00.007	Електродвигун	1	
				8	08-27.МКР.01.00.008	Електродвигун	1	
				9	08-27.МКР.01.00.009	Електродвигун	1	
				10	08-27.МКР.01.00.010	Електродвигун	1	
				11	08-27.МКР.01.00.011	Захват активний	1	
				12	08-27.МКР.01.00.012	Захват пасивний	1	
				13	08-27.МКР.01.00.013	Клапан запобіжний	1	
				14	08-27.МКР.01.00.014	Клапан запобіжний	1	
				15	08-27.МКР.01.00.015	Клапан зворотний	1	
				16	08-27.МКР.01.00.016	Насос	1	
				17	08-27.МКР.01.00.017	Насос	1	
				18	08-27.МКР.01.00.018	Насос	1	
				19	08-27.МКР.01.00.019	Перемикач	1	
				20	08-27.МКР.01.00.020	Підсилювач сигналу	1	
				21	08-27.МКР.01.00.021	Пневмогідролічний акумулятор	1	
				22	08-27.МКР.01.00.022	Пружина	1	

08-27.МКР.01.00.005

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Заець Е.С.		
Пров.		Сладкий А.В.		
Н.контр.		Сладкий А.В.		
Утв.		Поліщук Л.К.		

Гідрокінематична схема розривної машини

Лит.	Лист	Листов
	1	2

ВНТУ,  
ст. 20. 1ГМ-20М  
Формат А4

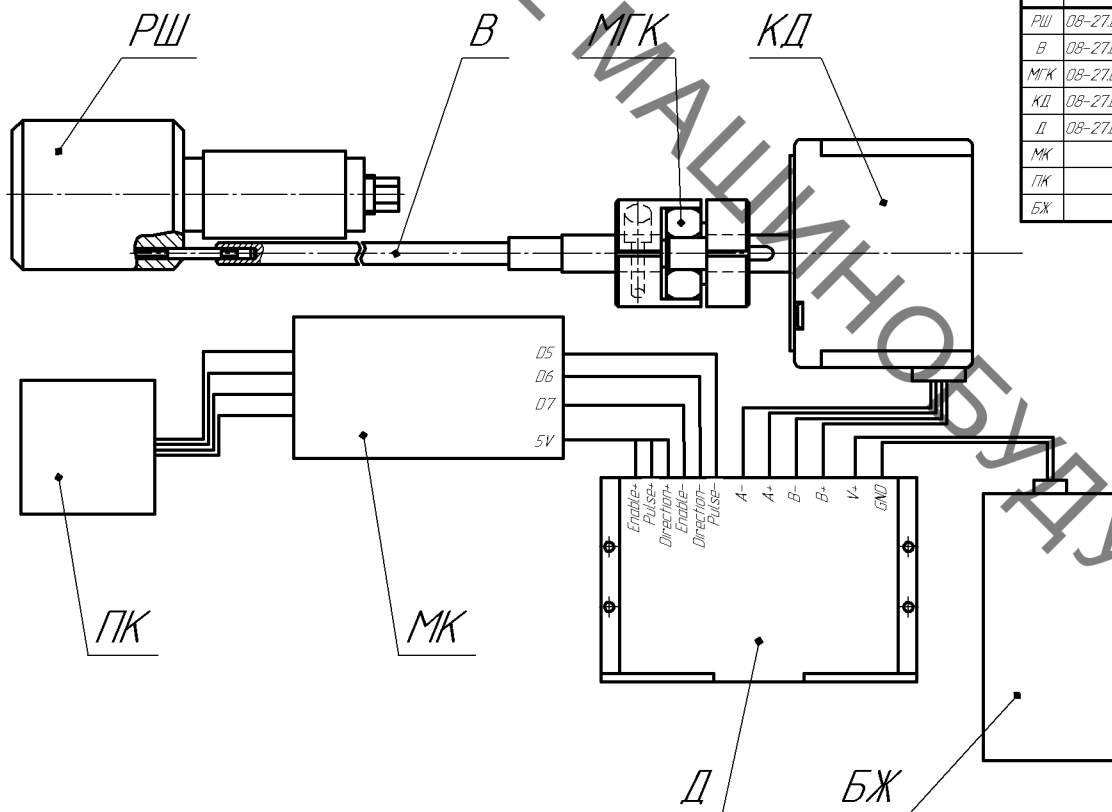
КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		23	08-27.МКР.01.00.023	Пружина	1	
		24	08-27.МКР.01.00.024	Регулятор швидкості	1	
		25	08-27.МКР.01.00.025	Рейка	1	
		26	08-27.МКР.01.00.026	Розподільник	1	
		27	08-27.МКР.01.00.027	Розподільник	1	
		28	08-27.МКР.01.00.028	Ролик конічний	4	
		29	08-27.МКР.01.00.029	Силівимірювач торсіонний	1	
		30	08-27.МКР.01.00.030	Стрілка	2	
		31	08-27.МКР.01.00.031	Торсіон	1	
		32	08-27.МКР.01.00.032	Фільтр сітчатий	1	
		33	08-27.МКР.01.00.033	Циліндр силівимірювальний	3	
		34	08-27.МКР.01.00.034	Циліндр робочий	1	
				Деталі		
		35	08-27.МКР.01.00.035	Бак	1	
		36	08-27.МКР.01.00.036	Бак	1	
		37	08-27.МКР.01.00.037	Бак	1	
		38	08-27.МКР.01.00.038	Колона	2	
		39	08-27.МКР.01.00.039	Колона	2	
		40	08-27.МКР.01.00.040	Основа	1	
		41	08-27.МКР.01.00.041	Траверса	1	
		42	08-27.МКР.01.00.042	Траверса	1	
		43	08-27.МКР.01.00.043	Штовхач	1	

Ив. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ив. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

08-27.МКР.01.00.006 П1

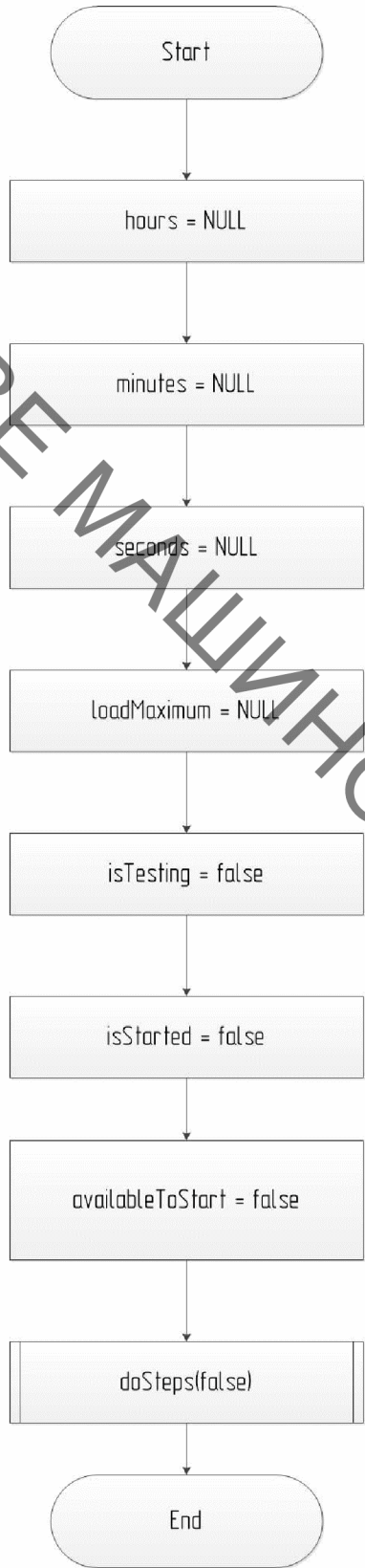


Позн.	Позначення	Найменування	Кіл.
РШ	08-27.БР.06.03.000.СК	Регулятор швидкості	1
В	08-27.БР.06.01.004	Вал	1
МК	08-27.БР.06.01.003	Муфта зчупа-чюва	1
КД	08-27.БР.06.01.002	Кроковий двигун	1
Д	08-27.БР.06.01.001	Драйвер	1
МК		Мікроконтролер	1
ПК		Персональний комп'ютер	1
БЖ		Блок живлення	1

08-27.МКР.01.00.006 П1			
Вид	№ докум.	Лист	Масштаб
Матриця	Значення	1/1	1:1
Проб.	Складний А.В.	Лист	Листов 1
Іконтр.	Складний А.В.	ВНТУ	
Маб.	Позначки А.В.	ст. зр. 1М-20М	

Катрибал Формат А2

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ



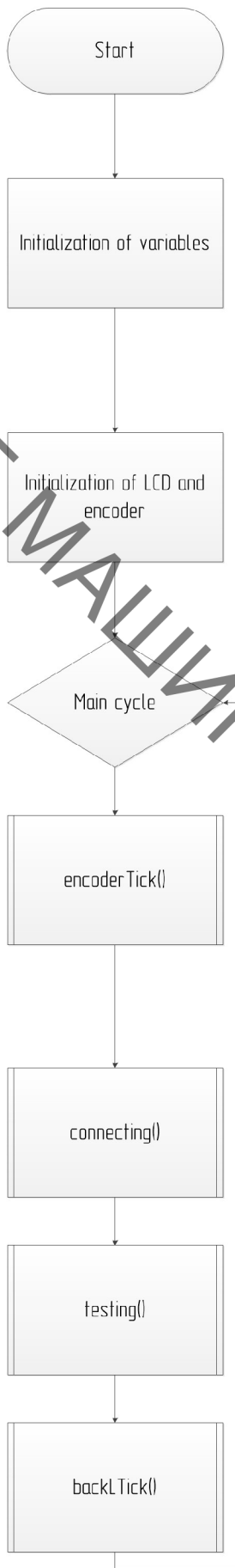
КОМПАС-3D v20 Інформація Версія © 2021 ООО "АСКОН" Система проєктування "Ростик. Все право захищено.  
 Дата і час: 11.07.2021 11:00:00  
 Ім'я користувача: Слабкий А.В.  
 Ім'я файлу: 08-27.МКР.01.00.007 ПЛ  
 Ім'я папки: 08-27.МКР.01.00.007 ПЛ

				08-27.МКР.01.00.007 ПЛ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Алгоритм функції	Лист	Масштаб	Масштаб
					stopTesting			1:1
Разраб.	Засць Є.С.					Лист	Листов	1
Проб.	Слабкий А.В.					ВНТУ		
І контр.						Стр. зр. 1 з 1 25.07.2021		
Ім'я файлу	08-27.МКР.01.00.007 ПЛ					Копіював		
Ім'я папки	08-27.МКР.01.00.007 ПЛ					Формат А2		





ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

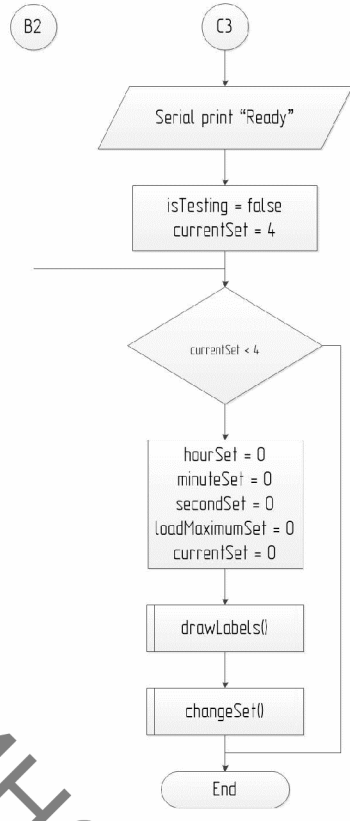
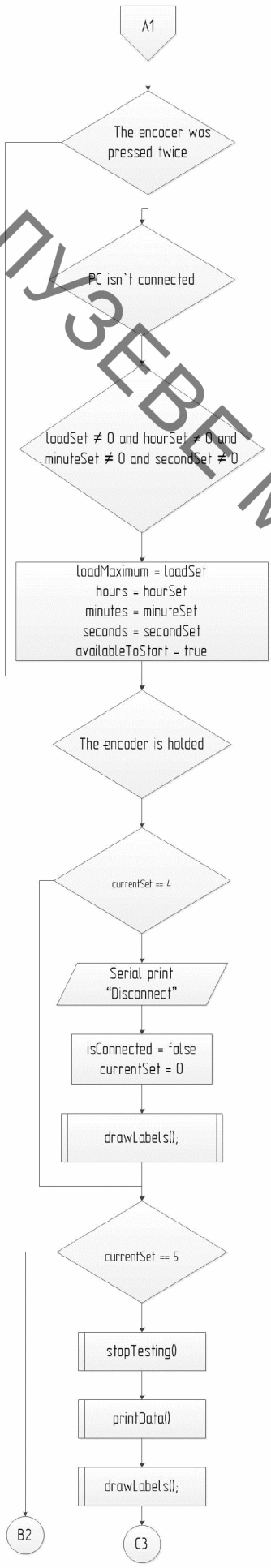


КМПАС-30-20	Учебна книга	© 2021.000	АСКОН-Системи проєктування	Ростис	Всі права захищені
КМБ № 1000	Лист № 1000	Взам. шифр №	Лист № 1000	Лист № 1000	Лист № 1000
КМБ № 1000	Лист № 1000	Взам. шифр №	Лист № 1000	Лист № 1000	Лист № 1000

				08-27.МКР.01.00.009 П1		
Изд.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Алгоритм функції loop	
Разраб.	Засць Є.С.				Лист	Масштаб
Проб.	Слабкий А.В.				Листов	1:1
І контр.					Лист	Листов 1
				ВНТУ		
				Стр. 30. 1, М 20, 20		
				Формат А2		

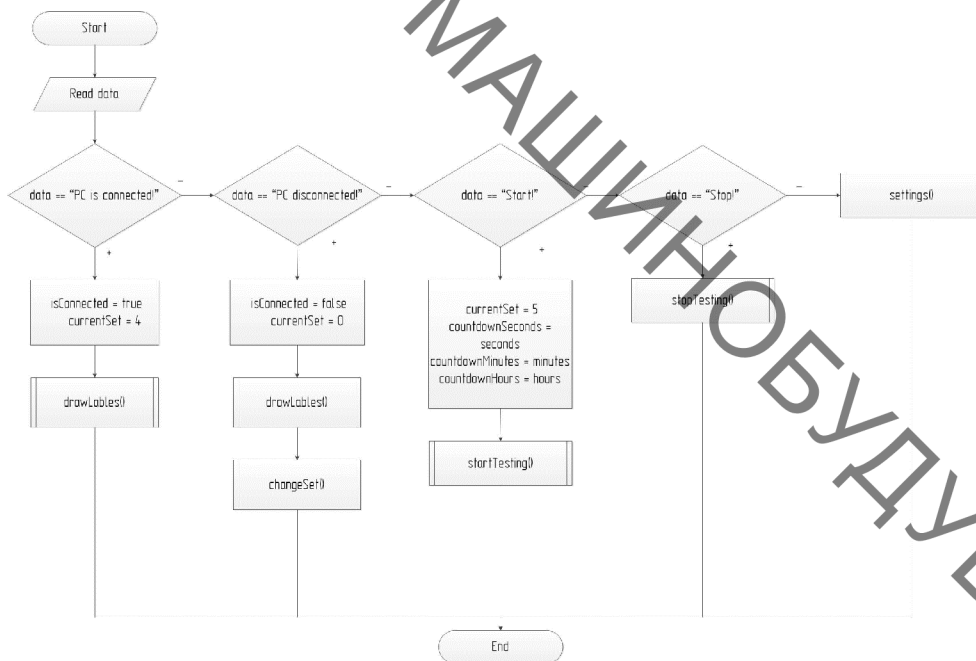


ВНТУ, ГАЛУЗЕВІ МАШИНОБУДУВАННЯ



ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

08-27МКР.01.00.001 П/І



08-27МКР.01.00.001 П/І			
№	Ім'я	Підрозділ	Статус
1	Алгоритм Функції		11
connecting			
01/13			
ст. зб. 17/4-20/1			
Формат 11			

ВНТУ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

