

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем  
та програмного забезпечення  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

бакалавра

(рівень вищої освіти)

на тему „Допомога системи управління блоком підготовки  
повітря допального озонатора”

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1710-С  
спеціальності 171 «Електроніка»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Електроніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

С. Ю. Шершовський

(ініціали та прізвище)

Керівник проф. каф. ЕІСПЗ Кірксієвський Д. У.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. дир. НКФ Єкатер Шершов С. А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 «Електроніка»

(код і назва)

Освітня програма Електроніка

(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Шквобескому Станіславу Кривовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) „Розробка системи управління блоком підготовки повітря сортового озонатора“

керівник роботи Алексєвський Дмитро Геннадійович

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

затверджені наказом ЗНУ від “29” грудня 2022 року № 1893-с

2 Строк подання студентом роботи 13 червня 2023






3 Вихідні дані до роботи 1. Напрямок живлення 9-30 В. 2. Струм живлення 20-67 А. 3. Потужність 600 Вт. 4. Тип струму постійний.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технічні та обладнання підготовки повітря. 2. Розробка системи управління блоком підготовки повітря сортового озонатора. 3. Розрахункова частинка. 4. Технологія розробки, виготовлення друкованих плат та охорона праці. 5. Економічне обґрунтування проєктованого вигляду.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема електрична структурна. 2. Схема електрична принципова. 3. Друкована плата. 4. алгоритм програми управління. 5. Заключувальний пристрій. 6. Експериментальні показники.

6 Консультанти розділів роботи

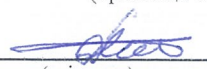
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алексієвський Д. Т., проф. каф.	 13.02.	Шлях 13.02.
2	Алексієвський Д. Т., проф. каф.	 13.02.	Шлях 13.02.
3	Алексієвський Д. Т., проф. каф.	 13.02.	Шлях 13.02.
4	Алексієвський Д. Т., проф. каф.	 13.02.	Шлях 13.02.
5	Алексієвський Д. Т., проф. каф.	 13.02.	Шлях 13.02.

7 Дата видачі завдання 13 лютого 2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технології підготовки плати	02.03.2023	
2.	Розробка системи управління	05.04.2023	
3.	Розрахункова частина	28.04.2023	
4.	Розробка друкованої плати та збирання плати	06.05.2023	
5.	Експериментальне об'єднання виробу	30.05.2023	
6.	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2023	
7.	Оформлення управлінської частини	13.06.2023	

Студент Шлях Алексієвський С.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Алексієвський Д.Т.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Тузич К.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект містить: 109 стор., 52 рис., 17 табл., 23 джерела літератури.

ФІЛЬТР, СТИСНЕНЕ ПОВІТРЯ, ОСУШУВАЧ ПОВІТРЯ, КЛАПАН, БОРТОВИЙ ОЗОНАТОР, КОМПРЕСОР, РЕСИВЕР, ДАТЧИК, СИЛОВИЙ КЛЮЧ, МІКРОКОНТРОЛЛЕР

Мета дипломного проекту: розробити систему управління блоком підготовки повітря бортового озонатора.

В ході виконання роботи розглянуто способи та технології підготовки повітря для технологічних процесів, проаналізовано ринок пристроїв, блоків підготовки повітря, повітряних фільтрів та осушувачів стисненого повітря. Розглянуто компресори, ресивери, датчики температури, тиску, вологості та силові ключі управління електротехнічними компонентами пристроїв підготовки повітря. Виконано аналіз проблем та постановка завдань.

Розроблено систему управління блоком підготовки повітря бортового озонатора: розроблено структурну схему, вибрано необхідне обладнання та розроблено електричну принципову схему плати управління.

Розраховано потужність та енергоспоживання системи управління блоком підготовки повітря, розроблено алгоритм програми управління та написано програму роботи керуючого контролера у середовищі Arduino IDE.

Виконано макетування друкованої плати управління блоком підготовки повітря у середовищі EasyEDA та розглянуто технологію виготовлення друкованих плат в домашніх умовах методом фоторезисту. Розглянуто техніку безпеки у складальному цеху, розраховано пристрій заземлення та вивчено рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою.

Виконано економічне обґрунтування проектного виробу.

Також було виконано 6 креслень.

## ЗМІСТ

	Вступ . . . . .	5
1	Технологія та обладнання підготовки повітря . . . . .	7
1.1	Способи та технології підготовки повітря для технологічних процесів. . . . .	7
1.2	Аналіз ринку пристроїв та блоків підготовки повітря . . . . .	10
1.2.1	Блоки підготовки повітря . . . . .	10
1.2.2	Повітряні фільтри стисненого повітря. . . . .	10
1.2.3	Осушувачі стисненого повітря . . . . .	17
1.3	Компресори, ресивери . . . . .	24
1.4	Датчики температури, тиску та вологості . . . . .	29
1.5	Силкові ключі управління електротехнічними компонентами пристроїв підготовки повітря (MOSFET, IGBT, діоди, біполярні транзистори) . . . . .	34
1.6	Аналіз проблем та постановка завдань . . . . .	36
2	Розробка системи управління блоком підготовки повітря бортового озонатора . . . . .	38
2.1	Розробка структурної схеми блока підготовки повітря бортового озонатора. . . . .	38
2.2	Вибір необхідного обладнання для блока підготовки повітря . . . . .	40
2.3	Розробка електричної-принципової схеми плати управління блоком підготовки повітря . . . . .	46
3	Розрахункова частина . . . . .	54
3.1	Розрахунок потужностей та енергоспоживання системи управління блоком підготовки повітря . . . . .	54
3.2	Розробка алгоритму програми управління блоком підготовки повітря бортового озонатора. . . . .	58
3.3	Написання програми роботи керуючого контролера . . . . .	58
4	Технологія розробки, виготовлення друкованих плат та охорона праці. . . . .	70
4.1	Розробка друкованої плати . . . . .	70
4.2	Технологія виготовлення друкованих плат в домашніх умовах . . . . .	73
4.3	Охорона праці. . . . .	80
4.3.1	Техніка безпеки у складальному цеху . . . . .	80
4.3.2	Розрахунок пристрою заземлення . . . . .	82
4.3.3	Рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою. . . . .	86
5	Економічне обґрунтування проектного виробу. . . . .	88
	Висновки. . . . .	97
	Список використаних джерел. . . . .	98
	Додаток А . . . . .	100
	Додаток Б . . . . .	107
	Додаток В . . . . .	109

## ВСТУП

Озон –  $O_3$  - трьохатомна алотропна модифікація кисню. Є сильним природним окислювачем. Має потужні бактерицидні та віруліцидні властивості.

Висока хімічна активність озону зумовлена його окисними властивостями. У великих концентраціях озон взаємодіє і руйнує клітинну стінку бактерій, грибів, структурні одиниці вірусів; окисляє високомолекулярні речовини, біологічно не руйновані речовини, токсини, ароматичні та гетероциклічні сполуки; усуває неприємні запахи і знижує концентрацію канцерогенних речовин у повітрі робочої зони.

Озон широко застосовується в різних галузях промисловості, медицині, сільському господарстві, при розробці екологічно чистих технологій і при вирішенні проблеми захисту від шкідливих викидів в атмосферу і навколишнє середовище.

Існує безліч способів одержання озону, але на практиці найбільшого поширення набули електролітичний, фотохімічний та електричний способи.

Електролітичний спосіб полягає у синтезі озону з атомарного та молекулярного кисню, які утворюються при розкладанні води під впливом електричного струму. Озон утворюється у спеціальних електролітичних комірках. Як електроліт, для збільшення провідності, використовуються розчини кислот та їх солей. Цей спосіб забезпечує одержання висококонцентрованих озон-повітряних сумішей, але не знайшов широкого поширення через його високу енергоємність і вибухонебезпечність (побічним продуктом розкладання води є атомарний водень).

Фотохімічний спосіб синтезу озону полягає в опроміненні повітря, збагаченого киснем повітря або кисню короткохвильовим ультрафіолетовим випромінюванням. Озон утворюється під час дисоціації молекул кисню. Даний спосіб не дозволяє отримувати концентровані озон-повітряні суміші.

Озонаторні установки, засновані на цьому принципі, використовуються в медицині, харчовій промисловості та для лабораторних цілей.

Електричний спосіб отримання озону (електросинтез) полягає в утворенні озону з кисню в газовому середовищі при його дисоціації в електричному розряді. Синтез озону можливий у будь-якому типі електричного розряду. Найбільш економічними є коронний або бар'єрний розряди в газовому середовищі, що містить кисень.

У коронному розряді, через малий обсяг зони іонізації, не вдається одержати озон високих концентрацій. Цей спосіб не знайшов широкого поширення і застосовується в технологічних процесах, що не вимагають висококонцентрованих озон-повітряних сумішей.

Найбільш ефективним, нині, вважається електросинтез озону у бар'єрному розряді. Перевагами цього способу є: низькі витрати енергії на синтез озону, можливість одержання висококонцентрованих озон-повітряних (озон-кисневих) сумішей та відносна простота регулювання продуктивності озону шляхом зміни потужності розряду.

Бар'єрний розряд це електричний розряд в газовому середовищі між двома електродами, розділеними розрядним проміжком і діелектричним бар'єром (шаром). Розряд виникає за наявності на електродах різниці потенціалів достатньої для пробію розрядного проміжку. Наявність діелектричного бар'єру запобігає виникненню іскрового пробію і, як наслідок, електричної дуги.

# 1 ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯ

В теоретичній частині розглядається способи та технології підготовки повітря для технологічних процесів, аналізується ринок пристроїв та блоків підготовки повітря. Розглядається існуючі види повітряних фільтрів, осушувачів стисненого повітря, компресорів, ресиверів, датчиків температури, вологості, тиску та силових ключів управління. Аналізується проблема та ставляться завдання.

## 1.1 Способи та технології підготовки повітря для технологічних процесів

**Підготовка повітря** - дуже важлива операція, без якої не обходиться жоден серйозний технологічний процес. Якщо в пневматичних мережах загальнопромислового застосування, не пред'являється особливих вимог до якості стисненого повітря, то повітря, яке застосовується в таких галузях, як приладобудування, харчова, фармацевтична промисловість та ін., має бути абсолютно сухим, без вмісту олії та пилу, і навіть стерильним. Для досягнення таких завдань у кожному конкретному випадку використовується спеціально розроблена система підготовки повітря [1].

### Цілі та схеми підготовки повітря

Основними цілями підготовки стиснутого повітря є:

- очищення повітря від різних забруднень;
- забезпечення необхідного тиску;
- розпилення в стислому повітрі олії, з метою надання йому змащувальних властивостей (при необхідності).

Звичайно ж у кожному конкретному випадку можуть ставитися свої специфічні завдання та цілі. Ми ж розглянемо найпоширеніші схеми та методи підготовки повітря.



Для очищення повітря від забруднень можна виділити три основні способи:

- осушення (для видалення вологи);
- фільтрація (для видалення частинок пилю, бруду та олії);
- адсорбування (для видалення небажаних запахів та аерозолів).

На рисунку 1.1 наводяться схеми побудови систем підготовки повітря, залежно від видів кінцевого споживання стисненого повітря. Підготовка повітря - процес досить творчий, і в кожному конкретному випадку можна застосовувати зовсім різні, часом несподівані рішення. Одних і тих же результатів можна досягти застосовуючи абсолютно різні пристрої та послідовність їх монтажу.

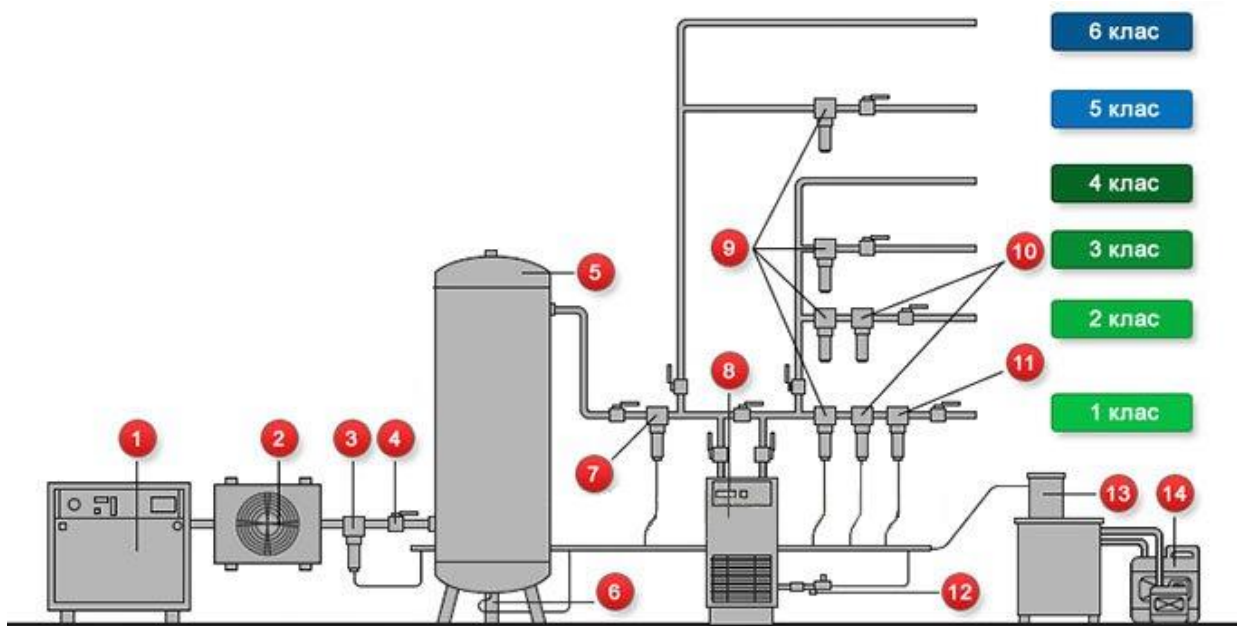


Рисунок 1.1 – Схеми підготовки повітря: 1 – повітряний компресор; 2 - кінцевий охолоджувач повітря; 3 – циклонний сепаратор; 4 – вентиль; 5 – повітряний ресивер; 6 - пристрій зливу конденсату; 7 – попередній фільтр 5 мкм; 8 – рефрижераторний осушувач повітря; 9 - фільтр тонкої очистки 1 мкм; 10 – коалесцентний фільтр 0,01 мкм; 11 – вугільний фільтр; 12 - конденсатовідвідник; 13 - водно-олійний сепаратор; 14 - ємність для збирання олії.

### **Охолодження повітря**

Повітря, що виходить із компресора, необхідно охолодити. Це неодмінна та дуже важлива умова. Повітря може охолоджуватися як природним шляхом (наприклад у ресиверах), так і за допомогою спеціальних кінцевих охолоджувачів. Тільки після охолодження з'являється сенс пропускання повітря через циклонний сепаратор або магістральний фільтр. В іншому випадку, велика кількість пар води та масла пройде через фільтр, і випаде у вигляді конденсату при подальшому охолодженні в магістралі.

### **Вологовиділення**

Вологовідділювачі бажано використовувати спільно з магістральними фільтрами, причому встановлювати вологовідділювач перед фільтром. Така схема забезпечить максимально ефективне очищення: відокремлювач відведе основну кількість твердих домішок разом з водомасляною емульсією, після чого фільтр затримає дрібні фракції твердих частинок. Слід також знати, що навіть після повного очищення з повітря може знову випадати конденсат, якщо його температура продовжуватиме падати. З цієї причини, потрібно намагатися встановлювати вологовідділювач у тому місці магістралі, де температура повітря має мінімальне значення [1].

### **Централізована підготовка повітря**

Якщо всі споживачі в мережі мають однакові вимоги до якості повітря, найбільш раціонально проводить централізовану підготовку повітря. За такою схемою основне очищення та маслорозпилення проводиться саме в магістралі. У цьому випадку місцева підготовка повітря полягає у стандартній фільтрації та регулюванні тиску.

### **Місцева підготовка повітря**

У разі коли споживачі мережі потребують різного рівня очищення повітря, то в магістралі проводиться лише базова підготовка. Основний рівень якості повітря, досягається вже безпосередньо перед кожним споживачем, відповідно до вимог кожного з них. За такою схемою вирішальна роль відводиться місцевій підготовці повітря.

## **1.2 Аналіз ринку пристроїв та блоків підготовки повітря**

### **1.2.1 Блоки підготовки повітря**

Блоки підготовки повітря це два і більше пневматичних пристроїв, з'єднані між собою в одну цільну конструкцію (блок).

Кількість пристроїв і послідовність їх встановлення визначається постановкою завдань, які покликаний вирішувати той чи інший блок підготовки повітря.

Оскільки найбільш поширеними завданнями в пневматиці є очищення стисненого повітря на виході з компресора, і регулювання тиску, то велике поширення отримали так звані фільтри-регулятори, які складаються з повітряного фільтра і регулятора тиску, змонтованих в одному корпусі. По суті, фільтр-регулятор можна вважати найпростішим блоком підготовки повітря.

При підвищених вимогах до очищення стисненого повітря найбільш часто використовуються блоки підготовки повітря, що складаються з двох, трьох або чотирьох повітряних фільтрів. У цьому випадку фільтри монтуються, як правило, в наступній послідовності: фільтр грубого очищення (25 - 40 мкм) → фільтр тонкого очищення (1 - 5 мкм) → коалесцентний фільтр супертонкого очищення (0,01 мкм) → вугільний фільтр (для видалення запахів та ін.). Часто після фільтрації (очищення стисненого повітря), встановлюється лубрикатор (маслорозпилювач), за допомогою якого стиснене повітря насичується олією, для змащування деталей, що труться, і пристроїв пневмоприводу [2].

### **1.2.2 Повітряні фільтри стисненого повітря**

Стиснене повітря, що виходить із компресора в пневматичну систему, містить у собі цілий ряд шкідливих домішок, що несуть масу негативних наслідків. Щоб уникнути проблем, пов'язаних з брудним повітрям, у переважній більшості випадків, його треба піддавати тому чи іншому ступеню

очищення. Основним видом обладнання для такого очищення, безперечно, є фільтр стисненого повітря [3].

### **Класифікація повітряних фільтрів**

Ми вже знаємо, що основними забрудненнями стисненого повітря є вода, залишки компресорної олії, механічні частинки у вигляді пилу та бруду, а також масляні пари та інші аерозолі. Отже, за своїм призначенням всі фільтри можна розділити на:

- фільтри-вологовідділювачі - для рідких забруднень (вода та олія);
- магістральні фільтри – для видалення механічних домішок;
- вугільні фільтри - для видалення запахів, пар, аерозолів та інших летючих домішок.

За способом (принципом) очищення всі фільтри можна розділити на:

- фільтри циклонного типу (циклонні сепаратори);
- поверхневі фільтри;
- об'ємні (глибинні) коалесцентні фільтри;
- адсорбуючі фільтри.

### **Фільтри-вологовідділювачі**

Зазвичай під вологовідділювачами мають на увазі повітряні фільтри циклонного типу, або, як їх ще називають, циклонні сепаратори. Ці пристрої призначені для грубої попередньої очистки стисненого повітря від водяного та масляного конденсату. Тим не менш, вони здатні успішно видаляти значну кількість твердих частинок, розміром понад 25 мкм. Принцип дії ґрунтується на використанні відцентрової сили. Потік повітря завихрюється і отримує обертальний рух щодо осі фільтра. Під дією відцентрової сили значна частина води, масла і пилу відкидаються на стінки склянки, і стікають в його нижню частину, де знаходиться спеціальний клапан для видалення конденсату. Циклонні фільтри здатні відокремити понад 99% крапельної вологи [3].

## Фільтри-вологовідділювачі SPC (Китай)

Фільтри-вологовідділювачі SPC [4] досить ефективно видаляють основну краплинну вологу, олію та 95% твердих частинок, що виходять з компресора. Вони поставляються на ринок України понад 15 років. Крім хорошої якості, фільтри цієї серії вигідно відрізняються прийнятною ціною.



Рисунок 1.2 – Фільтри – вологовідділювачі SPC (Китай).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики та ціни серії FU

№	Модель	Тиск, bar	Фільтр, мкм	Витрата, л/мин	Робоча темп., °C	Розмір з'єдн.	Маса, кг	Ціна, грн.
1	<u>FU20-08</u>	0 — 10	25	400 — 1500	0 — 60	G1/4"	0,32	<b>692</b>
2	<u>FU20-08A</u>	0 — 10	25	400 — 1500	0 — 60	G1/4"	0,35	<b>1668</b>
3	<u>FU40-10</u>	0 — 10	25	1500 — 2050	0 — 60	G3/8"	0,4	<b>912</b>
4	<u>FU40-10A</u>	0 — 10	25	1500 — 2050	0 — 60	G3/8"	0,45	<b>1918</b>
5	<u>FU40-15</u>	0 — 10	25	2100 — 4500	0 — 60	G1/2"	0,72	<b>960</b>
6	<u>FU40-15A</u>	0 — 10	25	2100 — 4500	0 — 60	G1/2"	0,75	<b>1940</b>
7	<u>FU50-20</u>	0 — 10	25	4000 — 7100	0 — 60	G3/4"	0,75	<b>1600</b>
8	<u>FU50-20A</u>	0 — 10	25	4000 — 7100	0 — 60	G3/4"	0,8	<b>2560</b>
9	<u>FU50-25</u>	0 — 10	25	5000 — 8200	0 — 60	G1"	0,75	<b>1680</b>
10	<u>FU50-25A</u>	0 — 10	25	5000 — 8200	0 — 60	G1"	0,8	<b>2600</b>

### Фільтри-осушувачі Camozzi (Італія)

Фільтри - осушувачі торгової марки Camozzi (Італія) [5], зарекомендували себе як надійне та якісне обладнання для підготовки повітря. Циклонні сепаратори та коалесцентні фільтри Camozzi знайшли широке застосування у найрізноманітніших системах підготовки та очищення.



Рисунок 1.3 – Фільтри - осушувачі Camozzi (Італія).

Залежно від призначення, всі фільтри Camozzi поділяються на циклонні з фільтруючим елементом, коалесцентні, та фільтри з активованим вугіллям. Всі вони досить компактні, і в більшості мають конструкції модульного типу, тобто мають можливість збиратися в блоки підготовки повітря різної конфігурації.

#### Фільтри малої продуктивності (серія N)

Виконані з прозорою склянкою з технополімеру, що дозволяє швидко і легко визначити рівень конденсату, що накопичився. У фільтрах серії N доступні фільтруючі елементи трьох видів: 25 мкм, 5 мкм та 1 мкм. Витратні характеристики лежать у межах до 1300 л/хв.

У стандартній комплектації циклонні та коалесцентні фільтри – осушувачі оснащені напівавтоматичним (ручним) конденсатовідвідником. Доступні моделі з автоматичним скиданням конденсату і без механізму скидання. В цьому випадку волога відводиться через отвір з приєднувальним різьбленням G1/8.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики та ціни серії N

№	Модель	З'єдн, дюйм	Продуктивність, м <sup>3</sup> /мин				Фільтр. елемент, мкм	Скидання конденсату	Ціна, грн.
			2 бар	4 бар	6 бар	8 бар			
<b>Попередні фільтри (грубе очищення)</b>									
1	N108-F00	1/8	0,3 - 0,6	0,4 - 0,7	0,4 - 0,8	0,4 - 1,0	25	п/автомат.	<b>1066</b>
2	N108-F08	1/8	0,3 - 0,6	0,4 - 0,7	0,4 - 0,8	0,4 - 1,0	25	G1/8	<b>1005</b>
3	N108-F10	1/8	0,3 - 0,5	0,3 - 0,7	0,3 - 0,8	0,4 - 0,9	5	п/автомат.	<b>1066</b>
4	N108-F18	1/8	0,3 - 0,5	0,3 - 0,7	0,3 - 0,8	0,4 - 0,9	5	G1/8	<b>1005</b>
5	N204-F00	1/4	0,3 - 0,8	0,3 - 1,0	0,3 - 1,2	0,4 - 1,4	25	п/автомат.	<b>1005</b>
6	N204-F04	1/4	0,3 - 0,8	0,3 - 1,0	0,3 - 1,2	0,4 - 1,4	25	по Δр	<b>923</b>
7	N204-F05	1/4	0,3 - 0,8	0,3 - 1,0	0,3 - 1,2	0,4 - 1,4	25	автомат.	<b>1296</b>
8	N204-F08	1/4	0,3 - 0,8	0,3 - 1,0	0,3 - 1,2	0,4 - 1,4	25	G1/8	<b>964</b>
9	N204-F10	1/4	0,2 - 0,6	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	0,4 - 1,1	5	п/автомат.	<b>964</b>
10	N204-F14	1/4	0,2 - 0,6	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	0,4 - 1,1	5	по Δр	<b>1046</b>
11	N204-F18	1/4	0,2 - 0,6	0,3 - 0,8	0,4 - 1,0	0,4 - 1,1	5	G1/8	<b>964</b>
<b>Коалесцентні фільтри (тонкого очищення)</b>									
15	N108-FB0	1/8	0 - 0,4	0 - 0,5	0 - 0,6	0 - 0,7	0,01	п/автомат.	<b>2973</b>
16	N204-FB0	1/4	0 - 0,6	0 - 0,9	0 - 1,1	0 - 1,3	0,01	п/автомат.	<b>2973</b>
17	N204-FB4	1/4	0 - 0,6	0 - 0,9	0 - 1,1	0 - 1,3	0,01	по Δр	<b>3116</b>
18	N204-FB8	1/4	0 - 0,6	0 - 0,6	0 - 0,6	0 - 0,6	0,01	G1/8	<b>3116</b>

### Магістральні фільтри

Під магістральними фільтрами зазвичай розуміють повітряні фільтри з поверхневими та об'ємними фільтруючими елементами. Поверхневі фільтри затримують частинки шкідливих домішок своєї поверхні. Затримані рідкі та тверді частинки, під дією сили тяжіння опускаються в нижню частину фільтра, звідки видаляються конденсатовідвідником. Зазвичай такі фільтри можуть видаляти до 99,99% шкідливих частинок розміром понад 3 мкм (у тому числі води та олії), і використовуються як попередні фільтри, перед фільтрами тонкого очищення та осушувачами повітря, захищаючи їх від інтенсивного навантаження.

У випадках, коли вимоги до якості стисненого повітря не надто великі, система очищення може на них закінчитися. Під об'ємними коалесцентними фільтрами розуміються фільтри з об'ємними (глибинними) фільтруючими елементами, які затримують шкідливі домішки не так на поверхні, як у глибині матеріалу, що фільтрує.

Сам фільтроматеріал представляє собою найтонші, спеціальним чином сплетені волокна, що утворюють складну систему лабіринтів. Рухаючись через шар матеріалу, що фільтрує, дрібні частинки масла і води коалесцируються, тобто зливаються між собою, утворюючи великі краплі. На зовнішній поверхні фільтруючого елемента розташований дренажний рукав, через який частинки домішок переміщуються у нижню частину фільтра для подальшого видалення. Ступінь очищення таких фільтрів становить 99,99999% для частинок розміром 0,01 мкм і вище, що дозволяє використовувати їх як фільтри тонкого і фінішного очищення.

### **Магістральні фільтри Remeza (Німеччина)**

Повітряні фільтри торгової марки Remeza (виробництво Німеччина) [6], відносяться до об'ємних фільтрів, призначені для місцевого і магістрального очищення стисненого повітря. Фільтруючі елементи виготовлені з глибокофрованого боросилікатного волокна, що забезпечує високу ступінь очищення стисненого повітря. Передбачено кілька ступенів фільтрації, які забезпечують встановлення різних картриджів (фільтруючих елементів).

У стандартній комплектації фільтри оснащені автоматичними конденсатовідвідниками (пристроями скидання конденсату) та індикаторами забруднення фільтруючих елементів. Опціонально може використовуватися електронно-рівневий конденсатовідвідник з нульовою втратою повітря R-DRAIN.





Рисунок 1.4 – Магістральні фільтри Remeza (Німеччина).

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики та ціни фільтрів Remeza

№	Модель	Витрата,		Макс. тиск, бар	З'єдн.	Габарити, (мм)				Маса, кг	Ціна, грн.	
		л/хв	м <sup>3</sup> /ч			A	B	C	D		Фільтр у зборі	Фільтр. елемент
1	R302-*	580	35	16	G <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	113,6	205,5	171,4	102,0	0,8	5600	2200
2	R303-*	1020	61	16	G <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	113,6	205,5	171,4	102,0	0,8	6600	3300
3	R304-*	1470	88	16	G <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	113,6	252,0	216,4	102,0	0,9	8000	3600
4	R306-*	2180	131	16	G <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	132,0	262,1	219,8	127,0	1,4	9600	4800
5	R307-*	3000	180	16	G <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	132,0	262,1	219,8	127,0	1,4	11200	5200
6	R308-*	4580	275	16	G1	132,0	326,1	283,8	127,0	1,6	13200	5600
7	R310-*	7500	450	16	G1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	200,0	336,7	276,1	178,0	3,8	18400	7000
8	R311-*	10480	629	16	G1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	200,0	433,7	373,1	178,0	4,5	20800	8000
9	R312-*	11670	700	16	G2	200,0	566,0	505,4	178,0	5,3	24800	9200
10	R314-*	22570	1354	11	G2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	230,8	634,4	550,0	204,0	8,4	48400	12000
11	R315-*	30000	1800	11	G2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	230,8	634,4	550,0	204,0	8,4	57200	16000
12	R316-*	34950	2097	11	G3	230,8	817,1	732,7	204,0	13	74800	18400
13	R317-*	43700	2622	11	G3	230,8	1085	1000	204,0	29	88000	22000

### Вугільні фільтри

Вугільні фільтри відносяться до класу адсорбуючих фільтрів, головна мета яких затримувати леткі домішки у вигляді парів олії, вуглеводнів, різних аерозолів, що мають сторонні запахи та присмак. Використовуються при суперфінішному очищенні повітря у фармацевтичній, харчовій промисловості та інших областях. Як фільтруючий матеріал зазвичай використовується боросилікатне волокно, насичене активованим вугіллям. Молекули

вуглеводнів та інших шкідливих домішок поглинаються активованим вугіллям під впливом сил адгезії.

Перед тим як направляти повітря у вугільний фільтр, його обов'язково потрібно ретельно очистити від парів вологи та олії. В іншому випадку буде різко знижена ефективність його роботи, а сам елемент, що фільтрує, швидко вийде з ладу.

Дуже бажано перед вугільним фільтром провести осушування повітря до точки роси не вище  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **1.2.3 Осушувачі стисненого повітря**

Осушувачі стисненого повітря – один з найефективніших інструментів видалення водяної пари в процесі підготовки повітря. Всім відомо, що атмосферне повітря має певну вологість. Саме тому, у стислому повітрі на виході з компресора, також міститься певна кількість вологи, яка залежить від тиску, відносної вологості та температури пароповітряної суміші [7].

Гаряче повітря, що виходить із компресора, надходить у трубопроводи пневмомережі, де відбувається швидке охолодження, внаслідок чого відбувається випадання вологи у вигляді конденсату.

Вода, що потрапляє до пневмомережі, безперечно є шкідливою домішкою. Вона призводить до корозії трубопроводів, робочих частин пневмообладнання та інструменту, що призводить до передчасного виходу з ладу. Часто залишкова волога призводить до браку або псування кінцевої продукції. У зимову пору року, волога що міститься в пневмомережах, замерзає, що також призводить до негативних наслідків, аж до зупинки виробництва, тощо.

Щоб захистити себе від подібних неприємностей, слід використовувати осушувачі стисненого повітря, які здатні суттєво знизити вміст вологи.

## Основні види осушувачів

За методами та принципами осушення стисненого повітря існує досить велика кількість різновидів осушувачів [7]:

1. Холодильні (рефрижераторні) осушувачі є найбільш поширеними. Принцип їх дії полягає в конденсуванні вологи шляхом примусового охолодження стисненого повітря в рефрижераторному теплообміннику з використанням холодоагенту (звичайно фреону). Такі осушувачі іноді називають фреоновими. Виділена волога автоматично видаляється за допомогою конденсатовідвідника.

Досяжна цим методом точка роси  $+3^{\circ}\text{C}$  (це та температура, до якої потрібно охолодити стиснене повітря (за заданого тиску), щоб з нього почалося випадання конденсату), у більшості випадків цього достатньо для технологічних процесів.

2. Осушувачі адсорбційного типу - застосовуються, як правило, у випадках, коли пред'являються особливо високі вимоги, і точка роси повітря, що осушується, повинна бути набагато нижче ніж  $+3^{\circ}\text{C}$ .

Це відбувається, наприклад, у випадках коли пневмопровід проходить вулицею, і температура навколишнього повітря (взимку) може бути значно нижчою ніж  $+3^{\circ}\text{C}$ . Крім того, такий ступінь осушення потрібний для використання в лабораторному та вимірювальному обладнанні, системах управління або при роботі з технологічними матеріалами, чутливими до вологи. Адсорбційні осушувачі забезпечують, зазвичай, ступінь осушення стисненого повітря до точки роси в межах  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $-70^{\circ}\text{C}$ , і діляться на два види.

3. Мембранні осушувачі спеціально розроблені для виділення вологи з невеликих обсягів стиснутого повітря. Максимальна пропускна здатність – 2000 л/хв. Принцип дії полягає у відділенні молекул води при проходженні стисненого повітря через спеціальні мембрани, у вигляді пустотілих ниток.

Основна відмінність полягає в тому, що мембранні осушувачі зменшують вологість повітря у певній пропорції, в той час як осушувачі холодильного та адсорбційного типу знижують точку роси стисненого повітря. До переваг можна віднести компактність, відсутність електроспоживання та конденсатовідвідників. Недоліки – втрати стисненого повітря до 20%.

### **Рефрижераторні осушувачі холодильного типу**

Холодильні осушувачі досить раціональні за конструкцією, прості та дешеві в експлуатації. Їх відрізняють низьке енергоспоживання та рівень шуму, довговічність та надійність функціонування. Точка роси 3 °С, що досягається при осушенні повітря, є дуже хорошим показником, і задовольняє потреби переважної більшості (до 80%) технологічних процесів з використанням стисненого повітря. Високий діапазон продуктивності (приблизно від 0,3 до 30 м<sup>3</sup>/хв) дозволяє використовувати холодильний осушувач як для найдрібнішого бізнесу, так і в умовах великих промислових підприємств.

### **Осушувачі повітря Remeza**

Осушувач повітря рефрижераторного типу від компанії SPX Flow (Німеччина), що випускаються під брендом білоруського компресорного заводу «Ремеза» (Remeza™) [8]. Це обладнання чудової якості та німецької надійності. Компанія є найстарішим (заснована у 1948 році) та найбільшим постачальником вузькоспеціалізованого обладнання з підготовки стисненого повітря у більш ніж 150 країн світу.

У компанії ведуться постійні наукові дослідження і, як результат, удосконалення продукції. У осушувачах цієї фірми використовуються найякісніші матеріали та новітні, у тому числі запатентовані технології. Зокрема, в серії ННД, використовуються технології «статичної конденсації» (5 моделей від 20 до 100 м<sup>3</sup>/год), «клапана постійного тиску» (10 моделей від

140 до 1000 м<sup>3</sup>/год), «змінної продуктивності (гарячого обведення)», та інші різноманітні вдосконалення.

Серія RFD - Конденсатор із вільним рухом середовища. Переваги:

- Конденсатор без вентилятора (тихий без турбулентності повітря);
- Незалежний від температури довкілля;
- Злив конденсату з таймерним керуванням;
- Повторно підігрівається на виході повітря (без потіння труб);



Рисунок 1.5 – Осушувач повітря Remeza серії RFD.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики та ціни серії RFD

№	Модель	Тиск, бар	Продуктивність		Потужність, кВт	Живлення, В	З'єдн. розмір	Габарити, мм			Маса, кг	Ціна, грн.
			л/хв	м <sup>3</sup> /год				Д	Ш	В		
1	RFD 21	16	330	20,0	0,24	230/1/50	10 мм	320	320	382	15	<b>30750</b>
2	RFD 31	16	500	30,0	0,24	230/1/50	3/8"	320	320	382	19	<b>34850</b>
3	RFD 61	16	1000	60,0	0,34	230/1/50	3/4"	394	368	568	28	<b>41000</b>
4	RFD 81	16	1330	80,0	0,4	230/1/50	3/4"	394	368	568	30	<b>45100</b>
5	RFD 101	16	1670	100,0	0,4	230/1/50	3/4"	394	368	568	42	<b>51250</b>

## **Осушувачі адсорбційного типу**

Адсорбційні осушувачі - найбільш ефективне рішення щодо очищення стисненого повітря від водяної пари, з досягненням точки роси в межах до  $-70^{\circ}\text{C}$ . На відміну від рефрижераторних осушувачів, в осушувачах даного типу, використовується адсорбент - спеціальний наповнювач, що має підвищену здатність до поглинання вологи [9].

### **Види адсорбційних осушувачів**

Очищення (відновлення) адсорбенту від поглиненої вологи здійснюється двома способами, і називається регенерацією. Відповідно, за способом виведення вологи, осушувачі адсорбційного типу поділяються на два види:

- осушувачі з холодною регенерацією;
- осушувачі із гарячою регенерацією.

### **Адсорбційні осушувачі з холодною регенерацією**

Осушувачі це дві колони, заповнені адсорбентом, — спеціальною речовиною, здатною інтенсивно поглинати вологу. Принцип дії полягає в поглинанні вологи адсорбентом, при пропусканні через нього повітря, що очищається, з подальшим виведенням її (вологи) в атмосферу, шляхом продування адсорбенту невеликою частиною вже осушеного повітря. При цьому втрати стисненого повітря на регенерацію (відновлення) адсорбенту становлять  $2 \div 2,5\%$ . Даний метод застосовується у випадках, коли втрати повітря не є критичними, і є необхідність економії електроенергії [9].

### **Адсорбційні осушувачі з гарячою регенерацією**

Принцип дії той самий. Однак дозволяє значно знизити або навіть повністю виключити технологічні втрати стисненого повітря на регенерацію адсорбенту. Для регенерації використовується атмосферне повітря, яке підігрівається зовнішнім нагрівальним приладом, і за допомогою повітродувки (компресор з великою продуктивністю і малим тиском) подається в адсорбер, що регенерується. У процесі продування теплим

повітрям адсорбент віддає поглинену вологу в атмосферу і повністю відновлюється для нового циклу [9].

### **Адсорбційні осушувачі серії DryXtreme NA**

Адсорбційні осушувачі з холодною регенерацією серії DryXtreme NA, розроблені для видалення стисненого повітря шкідливих водяних домішок, з досягненням точки роси в діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ . Дана серія призначена для використання в системах підготовки повітря з продуктивністю до  $2\text{ м}^3/\text{хв}$ .



Рисунок 1.6 – Адсорбційні осушувачі серії DryXtreme NA.

До відмінних особливостей осушувачів серії DryXtreme [10] можна віднести їх здатність до роботи при частоті 50/60 Гц, і від джерел енергії як зі змінним (100 - 220 В), так і з постійним струмом (12 - 24 В).

Для запобігання проникненню крапельного конденсату і твердих частинок в осушувач, стиснене повітря, що подається на його вхід, повинно бути попередньо очищене і осушене (в залежності від схеми підготовки повітря, що застосовується) за допомогою кінцевих охолоджувачів, сепараторів, фільтрів тонкого очищення та/або рефрижераторного осушувача повітря .

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики та ціни серії DryXtreme

№	Модель	Тиск, бар	Продуктивність,		Потужність, кВт	Живлення, В	З'єднання	Маса, кг	Ціна, євро
			м <sup>3</sup> /хв	м <sup>3</sup> /год					
1	NA012	4 — 16	0,12	7,2	0,24	230/1/50	3/8"	13	1 635,00
2	NA018	4 — 16	0,18	10,8	0,24	230/1/50	3/8"	14	1 835,00
3	NA025	4 — 16	0,24	14,4	0,24	230/1/50	3/8"	15	1 935,00
4	NA030	4 — 16	0,30	18,0	0,24	230/1/50	3/8"	17	2 090,00
5	NA046	4 — 16	0,46	27,6	0,24	230/1/50	3/8"	20	2 405,00
6	NA077	4 — 16	0,77	46,2	0,24	230/1/50	3/8"	24	2 770,00
7	NA107	4 — 16	1,06	63,3	0,24	230/1/50	3/8"	31	3 275,00
8	NA135	4 — 16	1,37	82,2	0,24	230/1/50	3/4"	53	4 505,00
9	NA165	4 — 16	1,67	100,2	0,24	230/1/50	3/4"	59	4 870,00
10	NA196	4 — 16	1,97	118,2	0,24	230/1/50	3/4"	64	5 520,00

### Мембранні осушувачі

Мембранні осушувачі стисненого повітря – пристрої для видалення залишків пари води, на фінішному етапі підготовки повітря. Точка роси (під тиском), яку забезпечують осушувачі даного типу, знаходиться приблизно в межах від +5 до -20°C, і займають проміжне положення між рефрижераторними та адсорбційними осушувачами стисненого повітря [11].

Як і у випадку з іншими осушувачами стисненого повітря, осушувачі мембранного типу вимагають попереднього очищення повітря, за допомогою фільтрів-вологовідділювачів.

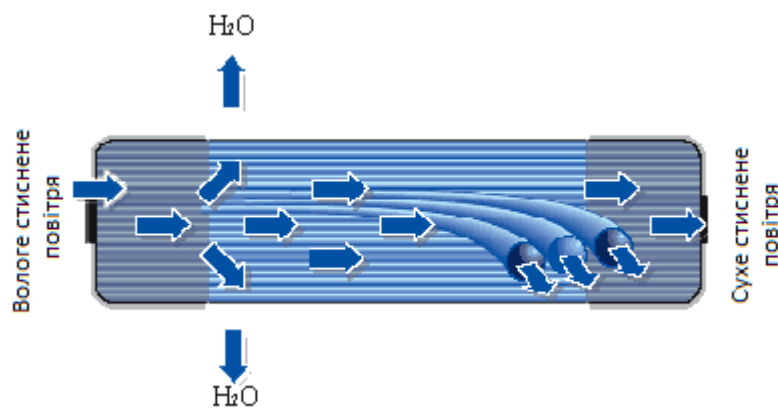


Рисунок 1.7 – Принцип дії мембранного осушувача.



Мембранний осушувач, зазвичай, це циліндричний корпус, у якому паралельно одне одному розміщені тисячі найтонших волоконно – мембранних трубок. Стіни трубок виготовлені із спеціального полімерного матеріалу, здатного пропускати лише молекули води (H<sub>2</sub>O).

Принцип мембранного осушення досить простий і при цьому дуже надійний. На вході осушувача стиснене повітря потрапляє у внутрішні частини мембран — волокон. При русі по них водяна пара (пермеат) легко просочується через стінки, в той час як молекули азоту і кисню продовжують утримуватися у внутрішній частині мікротрубок. Частина вже осушеного повітря використовується для продування та видалення виділеної вологи в атмосферу.

Ступінь очищення повітря від вологи тим більше, чим більше площа стикання його з поверхнею мембран, а також чим довше за часом відбувається це стикання, тобто чим менше швидкість руху повітря, тим більше ефект осушення.

### **1.3 Компресори, ресивери**

#### **Поршневі компресори**

Поршневі компресори - найвідоміший і найпоширеніший на сьогоднішній день вид компресорного обладнання. І не дивлячись на популярність гвинтових компресорів, що росте останнім часом, вони, як і раніше, залишаються лідером в області стискання повітря та інших газів [12].



Рисунок 1.8 – Поршневі компресори.

Пристрій поршневого компресора з великим ступенем схожості можна порівняти з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ). І там і там, головною деталлю, що рухається, є поршень (звідси і назва компресора).

Принципова різниця полягає в тому, що в двигуні внутрішнього згоряння, первинною, є енергія зворотно-поступального руху поршня, яка перетворюється на корисну обертальну енергію коленвала.

У компресорі поршковому, навпаки, первинним є обертання колінчастого валу, який рухається або електродвигуном, або тим же двигуном внутрішнього згоряння. Далі обертальний рух, за допомогою кривошипно-шатунного механізму, перетворюється на поступальний рух поршня. Той, зрештою, і стискає повітря, яке далі трубопроводами подається в повітряний ресивер, або відразу в робочу пневмомережу [12].

### **Переваги і недоліки**

До головних переваг поршневих компресорів належать:

- низька ціна;
- простота конструкції;
- невибагливість у роботі;
- простота в обслуговуванні;
- гарна ремонтпридатність.

Крім того, поршковий компресор добре переносить мінливі і короткочасні навантаження. Здатний працювати в агресивних середовищах та місцях підвищеної забрудненості. При цьому ремонт поршневих компресорів проводиться досить просто і швидко.

Однією з найважливіших переваг є здатність розвивати великі зусилля. Ця властивість успішно використовується, наприклад, для заправки газових та повітряних балонів для дихальних систем під тиском понад 300 атмосфер.

### **Гвинтові компресори**

Гвинтові компресори, на сьогоднішній день, набули широкого поширення в галузях промисловості, що використовують стиснене повітря,

дедалі більше витісняючи звичні всім поршневі компресори. Гвинтовий компресор найчастіше використовується у випадках, коли потрібні великі обсяги стисненого повітря, та (або) його постійне безперебійне споживання. У деяких випадках його використання обумовлено підвищеними вимогами до якості повітря, що виробляється, або необхідністю безшумної роботи [13].



Рисунок 1.9 – Гвинтовий компресор.

Гвинтовий компресор має ряд безперечних переваг перед поршневим компресором:

- низький рівень енергоспоживання (економія електроенергії становить 25-35%);
- наявність холостого ходу;
- низький рівень шуму;
- мале споживання олії, що у свою чергу на виході дає досить чисте стиснене повітря;
- простота та надійність конструкції дозволяє витратити мінімум часу на усунення будь-якої поломки;
- великі можливості щодо заходів з автоматизації робочого процесу, зокрема використання програмованих мікропроцесорних контролерів і частотних перетворювачів (фірми SIEMENS).

Крім того, гвинтові компресори можуть комплектуватися шумозахисним кожухом та вбудованим осушувачем стисненого повітря. Установка блоку рекуперації теплової енергії дозволяє використовувати тепло, що виділяється компресором, для опалення приміщень і нагрівання води.

### Пристрій гвинтового компресора

Основним робочим елементом гвинтового (роторного або ротаційного) компресора є гвинтовий блок, який являє собою два паралельно обертові ротори, - ведучого і веденого. Ротори виконані у вигляді спеціальних гвинтових профілів і поміщені в герметичний корпус, що має камеру всмоктування та камеру нагнітання. При обертанні назустріч один одному, гвинтові ротори захоплюють атмосферне повітря, що надходить через повітряний фільтр і впускний клапан камеру всмоктування, і переміщують його в камеру нагнітання, стискаючи, і тим самим піднімаючи тиск. Далі після очищення від олії та охолодження, стиснене повітря може подаватися в ресивер (повітрязбірник), або відразу в пневмомагістраль (якщо компресор не укомплектований ресивером) [13].

Таблиця 1.6 - Порівняльні характеристики поршневих та гвинтових компресорів

Характеристики	Поршневий	Гвинтовий
Продуктивність, л/хв	150 – 2 500	500 – 50 000
Режим роботи	50/50 %	цілодобово
Регулювання продуктивності	ні	є
t повітря на виході, °С	90 – 130	+ 7 – 15 от t всмоктування
Рівень шуму, дБ	80 – 100	62 – 78
Розрахунок напрацювання на відмову, год	2 500 – 6500	40 000 – 60 000
КПД (всмоктування/вихід)	50 – 70 %	90 – 99 %
Система очищення повітря	ні	є
Вміст олії, мг/м <sup>3</sup>	70 – 80	1 – 3

Як видно з таблиці, до основних переваг гвинтових компресорів можна віднести безшумність, високий ресурс роботи, можливість роботи без зупинки, висока якість повітря, що виробляється. Практично єдиний недолік, яким мають гвинтові компресори, є їхня висока первісна ціна.

Основними перевагами поршневих компресорів є їх низька ціна, невибагливість, простота експлуатації та ремонту. Серед головних недоліків можна відзначити високий рівень шуму та вібрацій, низький ККД та високий відсоток вмісту олії у виробленому повітрі.

### **Ресивери повітряні**

Повітряні ресивери відносяться до пневматичного обладнання, і призначені для накопичення стисненого повітря, вирівнювання його тиску в пневмомережі, шляхом згладжування пульсацій при виході з компресора, а також видалення з повітря шкідливих домішок, таких як волога та олія.



Рисунок 1.10 – Ресивери повітряні.

Однією з найважливіших функцій ресивера є накопичення стисненого повітря і створення його запасу. Завдяки цій функції вони отримали альтернативну назву - повітрозбірники. Як відомо, поршневі компресори повинні частину часу працювати, а частину часу "відпочивати". Саме запас

повітря, зосереджений у ресивері, дозволяє поршневному компресору робити паузу у своїй роботі. У випадку з гвинтовими компресорами використання повітрозбірників дозволяє скорочувати кількість переходів з робочого режиму в режим холостого ходу, і назад, що в свою чергу, підвищує ресурс повітряного агрегату [14].

### **Пристрій повітряних ресиверів**

Повітряний ресивер являє собою зварну посудину, призначену для роботи під тиском, що складається, як правило, з циліндричної частини (обичайки), що утворює його тіло, та двох еліптичних днищ. Залежно від способу установки (вертикальна/горизонтальна) для відповідної стійкості до ресивера приварені опори (ніжки). Для монтажу на ресивер компресорної головки, у разі горизонтального виконання, приварюються спеціальні кріплення.

Крім того, до стандартної комплектації ресивера входять:

- запобіжний клапан, що скидає тиск, у разі його підвищення вище максимально допустимого;
- манометр контролю поточного тиску;
- приєднувальні штуцери;
- кран для зливу конденсату;

## **1.4 Датчики температури, тиску та вологості**

### **Датчики температури**

В основі процесу вимірювання температури лежить використання залежності фізичних властивостей певного тіла (об'єм, електричний опір, рівень випромінювання тощо) від температурних значень. З точки зору будь-якої автоматизованої системи, у тому числі кліматичної, температурні дані найдоцільніше передавати у вигляді електричної величини. Ця величина може бути постійною або переривчастою (постійний і переривчастий сигнал), і відповідно до цього розрізняють аналогові та цифрові види датчиків

температури. Обидва види знаходять своє застосування в кліматичних системах [15].



Рисунок 1.11 – Приклади цифрових та аналогових термодатчиків.

### Аналогові термодатчики

Серед усіх видів аналогових термодатчиків для кліматичних систем найчастіше застосовують терморезистори і термопари.

Терморезистор, або термістор, являє собою напівпровідниковий резистор, який при нагріванні чи охолодженні змінює свій активний електричний опір. Терморегулятор живить терморезистор опорною напругою (наприклад, 3,3 В), яку той зменшує до певної величини, у залежності від температури середовища (наприклад, при 25 °С — до 2,15...2,16 В). Надалі терморегулятор перетворює цю зміну опорної напруги в температуру, після чого приймає рішення про вмикання чи вимикання кліматичного обладнання.

Розрізняють два види терморезисторів:

- позистори, або РТС-термістори (Positive Temperature Coefficient);
- NTC-термістори (Negative Temperature Coefficient).

У позисторах зі зростанням температурних значень збільшується активний електричний опір, а в NTC-термістори – навпаки зменшується. NTC-термістори частіше застосовуються для роботи разом з терморегуляторами.

Іншим видом аналогових датчиків є термопара. Цей термодатчик являє собою пару з двох ізольованих провідників різнорідних металів, що з'єднані між собою на одному кінці та утворюють два контакти на іншому. Якщо ці кінці знаходяться в різних температурних умовах, то в замкнутому колі з таких різнорідних провідників виникає невелика напруга. Терморегулятор вимірює

цю напругу, і за допомогою відповідних алгоритмів дізнається значення температури. Діапазон вимірювання становить  $-270...+1820$  °C, залежно від того, з якого металу виготовлено кожен із провідників [15].

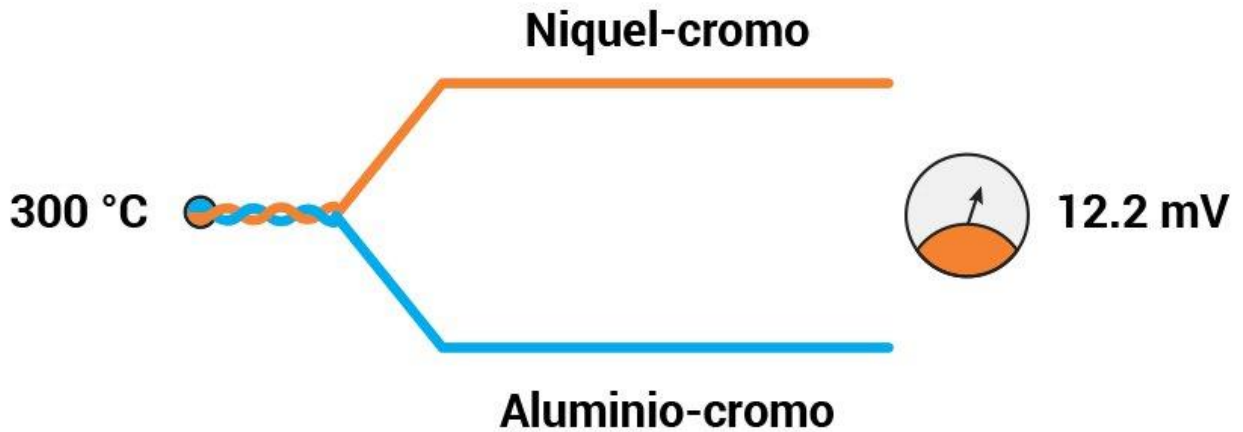


Рисунок 1.12 – Принцип роботи термопар.

Аналоговий сигнал дозволяє отримати достатньо точні дані вимірювання. Однак, за своєю природою він є досить слабким і потребує підсилення. Тому використання аналогових термодатчиків на великих відстанях (сотні метрів) є проблематичним, а інколи й узагалі неможливим.

### **Особливості цифрових датчиків температури**

Сигнал цифрових термодатчиків представлений у вигляді бінарного коду. Такі пристрої відрізняються від аналогових значно складнішою схематехнікою. До їх конструкції входять температурний сенсор (наприклад, температурно-залежний генератор), аналогово-цифровий перетворювач, оперативна пам'ять тощо [15].

Перевагою таких пристроїв є більш висока точність вимірювання (від 0,5 і навіть до 0,0625 °C), що дуже важливо, наприклад для інкубаторів. Також вони характеризуються достатньо широким температурним діапазоном (наприклад, модель DS18B20 може вимірювати від  $-55$  до  $+125$  °C). Широкий температурний діапазон є доречним для роботи з електричними котлами.



## Датчики тиску

Датчиками тиску називаються прилади, які дозволяють вимірювати тиск і перетворювати його на зрозумілу людині або приладу значення [16].

Тиск вимірюється в псі (в англійських одиницях) або Па (Паскалях), в системі СІ.

За вимірюваними значеннями всі датчики тиску поділяються на кілька груп:

1. Вимірювання абсолютного тиску. Це означає, що вони показують тиск, який є в даному середовищі зараз
2. Надлишковий тиск — вказує на скільки тиск у середовищі більший або менше, ніж атмосферний
3. Диференціальний тиск показує так само різницю, але не з атмосферним, а з довільним середовищем. Просто різницю тиску між двома середовищами.

Типи датчиків тиску:

**Манометри** – датчики тиску, які використовують принцип висоти рідини в колоні. Принцип роботи манометрів заснований на тому, що тиск виражається у вигляді висоти рідини з відомою густиною в колоні. Для обчислення тиску використовується формула.

Чим більший тиск, тим вище рівень рідини. Як рідина використовується або вода або ртуть. Вода має меншу щільність, тому датчики на її основі чутливіші, але ртуть дозволяє вимірювати набагато більший тиск, при цьому чутливість значно нижча.

**Мембранні** датчики тиску виготовляються з металевих дисків або гнучких матеріалів. Корпуси приладу виготовляють із матеріалу стійкого до робочого середовища, одна стінка у нього відсутня і замість нього встановлюється мембрана. Всередині корпусу може бути робоча речовина відомої густини або бути вакуум. При приміщенні датчика в середу, в якій необхідно вимірювати тиск, внаслідок різниці тисків всередині датчика і зовні мембрана буде деформуватися. За рівнем деформації можна визначити тиск.

Мембранний датчик зокрема встановлюється у лічильниках газу. Особливістю таких датчиків є широкий діапазон виміру (від 0.1 кПа до 7МПа) та високу чутливість.

**Сенсорні** датчики тиску визначають тиск вимірюванням зміни електричної схеми моста Уйтсона.

Вони можуть перетворити механічну деформацію тіла на електричний сигнал, на його основі можна перетворити силу стиснення або розтягнення предмета на електричний сигнал. При зміні розмірів вимірюваного тіла змінюється його опір, відповідно і змінюється рівень вихідного сигналу. Якщо купити датчик тиску палива, це буде сенсорний датчик тиску. Особливістю датчиків даного типу є висока точність виміру, з мінусів – висока ціна.

Вище перераховано 3 найбільш поширені типи датчиків тиску, крім них існують також волоконно-оптичні, магнітні, ємнісні, п'єзорезонансні та інші.

### **Датчики вологості**

Датчики вологості мають багато різних технічних реалізацій, і, в цілому, є досить специфічними елементами [17]. На практиці вологість досить важко виміряти з великою точністю, але найчастіше це і не потрібно. Залежно від умов використання застосовуються датчики, в основному, наступних типів:

- ємнісні;
- резистивні;
- психометричні;
- аспіраційні.

**Ємнісний** датчик являє собою конденсатор специфічного типу, ємність якого безпосередньо залежить від вологості повітря. **Резистивні** датчики вологості детектують перепади електричного опору гігроскопічного середовища, тобто в них закладена залежність опору від вологості. **Психометричний** принцип заснований на тому факті, що вологий предмет втрачає своє тепло з парою, що йде. Чим сухіше повітря, тим швидше йде в нього тепло, тим вище різниця температур. Отже, психометричний датчик

складається з двох термометрів - одного сухого і одного вологого. **Аспіраційний** датчик оснащується також нагнітачем повітря, і застосовується в умовах, де повітря не рухається, або рухається повільно.

Вибір того чи іншого датчика найчастіше індивідуальний для кожного окремого випадку. Він залежить від температури, в якій буде замірятися вологість, від можливості випадання конденсату, від наявності домішок в повітрі і так далі. Наприклад, цифрові ємнісні датчики втрачають свою точність при дуже високих температурах. Психометричний датчик добре справляється з конденсатом, і може ефективно працювати в умовах високих температур. Резистивні датчики дешеві і легко замінюються.

### **1.5 Силові ключі управління електротехнічними компонентами пристроїв підготовки повітря (MOSFET, IGBT, діоди, біполярні транзистори)**

Напівпровідниковий ключ – один із найважливіших елементів силової електроніки. На їх основі будуються майже всі безтрансформаторні перетворювачі струму і напруги, інвертори, частотні перетворювачі.

Застосування електронних ключів дає змогу спростити схему перетворювачів, значно зменшити габарити пристроїв, покращити технічні характеристики.

Основні характеристики напівпровідникових комутаторів:

- Струм або напруга управління.
- Номінальна напруга та струм силового каналу.
- Опір каналу.
- Допустима частота перемикачів.
- Статичні та динамічні втрати.

На базі IGBT виробляють частотні перетворювачі для електроприводів, безтрансформаторні конвертори та інвертори, зварювальне обладнання, регулятори струму потужних приводів. В області частот 10-20 кГц ключі на транзисторах GBT значно перевершують пристрої напівпровідникових приладах інших типів.

Основна сфера застосування потужних MOSFET – безумовно, імпульсні джерела живлення. В них транзистори на напругу 25, 30 або 40 В, так звані «низковольтні MOSFET», використовуються для отримання напруги живлення 5 або 12 В, необхідних комп'ютерам і телекомунікаційній апаратурі. Також їх використовують у генераторних пристроях, у підсилювальних каскадах (особливо у звукових Hi-Fi підсилювачах), у твердотільних реле та як елемент логічних схем. Основні переваги MOSFET-транзисторів виявляються при їх використанні як ключові елементи.

Діоди застосовуються для захисту пристроїв від неправильної полярності включення, захисту входів схем від перенапруги, захисту ключів від пробую ЕРС самоіндукції, що виникає при вимиканні індуктивного навантаження, для випрямлення змінного струму та іншого.

Основною функцією біполярного транзистора є збільшення потужності вхідного електричного сигналу. Але транзистори можна застосовувати не тільки в схемах посилення сигналу. Наприклад, завдяки тому, що вони можуть працювати в режимах насичення та відсікання, їх використовують як електронні ключі. Також можливе використання транзисторів у схемах генераторів сигналу. Якщо вони працюють у ключовому режимі, то генеруватиметься прямокутний сигнал, а якщо в режимі посилення - то сигнал довільної форми, що залежить від керуючого впливу.

## 1.6 Аналіз проблем та постановка завдань

Вміст озону в повітрі в концентрації  $\leq 0,5 \dots 2,5$  ppm сприяє усуненню неприємних запахів, вбиває практично всі види бактерій, вірусів, цвілевих та дріжджоподібних грибів, найпростіших. Озонування води ( $\leq 1 \dots 5$  мг/л) покращує її смакові властивості, руйнує органічні речовини, запобігаючи подальшому розвитку мікроорганізмів, знешкоджує більшість розчинених хімікатів (пестициди, гербіциди, нафтопродукти, миючі засоби, сполуки сірки та хлору), які є канцерогенами. Крім медичних та санітарно-гігієнічних застосувань, озон все ширше застосовується у металургійній, хімічній, напівпровідниковій та інших галузях промисловості. Озонаторна станція дозволяє вирішити низку життєво важливих та медичних проблем людини. Однак моделі, що промислово випускаються, досить громоздкі і енергоємні [18].

Проблема в тому, що немає бортових озонаторів.

Бортовий озонатор (БО) призначений для роботи у складі комплексу обладнання для підготовки питної води в польових умовах, в зонах екологічних лих. Можливе також доочищення питної води, що постачається по зношених або пошкоджених трубопроводах на об'єкти, які не підключені до централізованої енергосистеми [18].

Бортовий озонатор це конструктивно закінчений пристрій, який може бути використаний для дезінфекції та/або дезодорації обладнання, приміщень або резервуарів (ємностей, тари).

Як джерело електропостачання бортового озонатора використовується бортова мережа постійного струму. Джерелами енергії бортових мереж, як відомо, є електричні генератори та акумуляторні батареї (АКБ). Номінальне значення напруги бортової мережі, залежно від виду транспортного засобу, становить 12 В або 24 В. Залежно від рівня заряду АКБ, напруга мережі може змінюватися в межах  $\Delta U = \pm 20\%$  від номінального значення.

Метою роботи є розробка системи управління блоком підготовки повітря бортового озонатора.

Для досягнення цієї мети в роботі мають бути виконані:

- Розробка структурної схеми блоку підготовки повітря бортового озонатора.

- Розробка схемотехнічного рішення завдання управління блоком підготовки повітря бортового озонатора (розробка електричної-принципової схеми, макетування печатної плати).

- Розробка алгоритму програми роботи керуючого контролера.

- Написання програмного коду для управління блоком підготовки повітря бортового озонатора.

## **2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЛОКОМ ПІДГОТОВКИ ПОВІТРЯ БОРТОВОГО ОЗОНАТОРА**

Для ефективної роботи бортового озонатора необхідно розробити блок підготовки повітря, який призначений для осушення повітря та очищення його від пилу. Для цього було розроблено структурна схему блока підготовки повітря та електрична принципова схема плати управління. Також було вибрано необхідне обладнання для блока підготовки повітря.

### **2.1 Розробка структурної схеми блока підготовки повітря бортового озонатора**

Блок підготовки повітря БПП призначений для осушення повітря та очищення його від пилу. Його структурна схема наведена на рисунку 2.1.

Блок підготовки повітря включає:

ФГО – Фільтр грубої очистки 25 мкм;

К+Р – Компресор та ресивер (єдиний пристрій);

ФТО1 – Фільтр тонкої очистки 5 мкм;

РО – Рефрижераторний осушувач;

ФТО2 – Фільтр тонкої очистки 1 мкм;

ПР – Повітряний редуктор;

ЕКЗК – Електромагнітний клапан зливу конденсату;

ДТ – Датчик тиску;

МК – Мікроконтролер ATmega328pb;

SB1..SB4 – Чотири кнопки завдання режиму роботи;

ІН – Інвертор напруги;

ІППН – Імпульсний перетворювач постійної напруги 3 роду;

ДВТ – Датчик вологості та температури;

ПІ – Пристрій індикації;

ДЖВП – Джерело живлення власних потреб.

На вході БПП стоїть фільтр грубої очистки ФГО який призначений для видалення значної кількості твердих частинок, розміром понад 25 мкм. Далі повітря потрапляє до компресора який нагнітає повітря у ресивер (компресор з ресивером К+Р представляє собою єдиний прилад). Потім повітря проходить через фільтр тонкої очистки ФТО1 який виконує фільтрування рідких та твердих частинок розміром більше 5 мкм і використовується як попередній фільтр, перед осушувачем повітря, захищаючи його від інтенсивного навантаження. Рефрижераторний осушувач РО використовується для очищення стисненого повітря від вологості. Принцип дії полягає в конденсуванні вологи шляхом примусового охолодження стисненого повітря в рефрижераторному теплообміннику з використанням холодоагенту (звичайно фреону). Після осушувача повітря проходить фільтр тонкої очистки ФГО2 який виконує фільтрування рідких та твердих частинок розміром більше 1 мкм. В кінці розташований повітряний редуктор ПР, який підтримує значення тиску повітря, що виходить на заданому рівні.

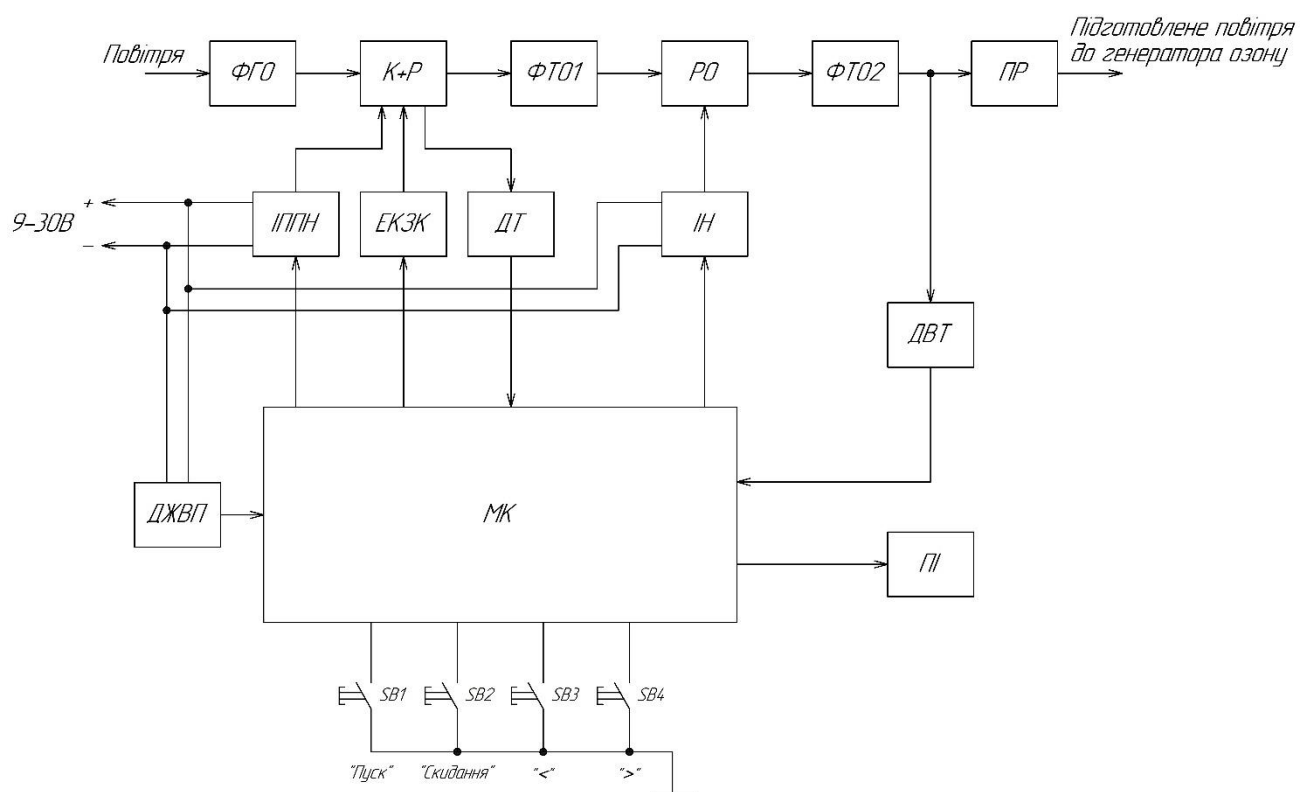


Рисунок 2.1 – Структурна схема блока підготовки повітря.



Живлення компресора К здійснюється Імпульсним перетворювачем постійної напруги 3 роду ІППН, який стабілізує напругу бортової мережі 9-30 В до значення 12 В.

Живлення рефрижераторного осушувача РО здійснюється Інвертором напруги ІН, який перетворює напругу бортової мережі 9-30 В постійного струму у змінний струм напругою 220 В.

Джерело живлення власних потреб ДЖВП стабілізує напругу бортової мережі 9-30 В на значенні 12 та 5 В, які необхідні для живлення мікроконтролера МК та інших модулів плати.

Мікроконтролер МК АТmega328РВ зчитує данні з датчика тиску ДТ та датчику вологості та температури ДВТ DHT22. Керує включенням ІППН, що живить компресор К та інвертором напруги ІН, що живить рефрижераторний осушувач. Також виводить на пристрій індикації ІІ значення датчиків та таймер автоматичного скидання води з ресивера.

Кнопка SB1 «Пуск» призначена для включення/виключення блока підготовки повітря. Кнопка SB2 «Скидання» призначена для ручного скидання накопиченої води в ресивері. Кнопки SB3 «<» та SB4 «>» призначені для налаштування часу таймера автоматичного скидання води.

## **2.2 Вибір необхідного обладнання для блока підготовки повітря**

На основі аналізу першого розділу та розробленої структурної схеми (рис. 2.1) вибираємо необхідне обладнання для блока підготовки повітря.

У якості фільтра грубої очистки вибираємо фільтр компанії SPC (Китай) типу FU20-08 зі ступенем фільтрації 25 мкм. Тиск повітря до 10 бар.



Рисунок 2.2 – Фільтр грубої очистки 25 мкм SPC FU20-08.

У якості Компресора + ресивера обираємо виріб компанії VOIN типу VL-720 OFF ROAD MASTER. Напруга живлення 12В. Струм споживання 23А. Об'єм ресиверу 10 л.



Рисунок 2.3 – Компресор + ресивер VOIN VL-720 OFF ROAD MASTER.

У якості фільтра тонкої очистки вибираємо фільтр компанії Camozzi (Італія) типу N108-F10 зі ступенем фільтрації 5 мкм. Тиск повітря до 16 бар.



Рисунок 2.4 – Фільтр тонкої очистки 5 мкм Camozzi N108-F10.

У якості рефрижераторного осушувача вибираємо виріб фірми Remeza (Німеччина) типу RFD 21. Напруга живлення 220 В. Потужність 240 Вт. Тиск повітря до 16 бар.



Рисунок 2.5 – Рефрижераторний осушувач Remeza RFD 21.

У якості фільтра тонкої очистки вибираємо фільтр фірми Remeza (Німеччина) типу R302-P3 зі ступенем фільтрації 1 мкм. Тиск до 16 бар.



Рисунок 2.6 – Фільтр тонкої очистки 1 мкм Remeza R302-P3.

У якості повітряного редуктора вибираємо виріб виробництва Китай типу AFR-2000 с манометром. Максимальний тиск 10 бар.



Рисунок 2.7 – Повітряний редуктор AFR-2000 с манометром.

У якості Електромагнітного клапану зливу конденсату вибираємо виріб компанії AQUA-WORLD типу 2w-200-20. Напруга живлення 12В. Максимальний тиск 10 бар.



Рисунок 2.8 – Латунний електромагнітний клапан 12В DN20.

У якості датчика тиску використовуємо резистивний датчик тиску для Arduino від фірми Sparkfun. Опір датчика залежить від прикладеної сили і складає від 1 МОм до 150 Ом.



Рисунок 2.9 – Датчик тиску для Arduino від Sparkfun.

У якості мікроконтролера обираємо мікросхему ATmega328PB фірми Atmel. Напруга живлення 5 В. Тактова частота 16 МГц. Об'єм пам'яті 32 КБ.

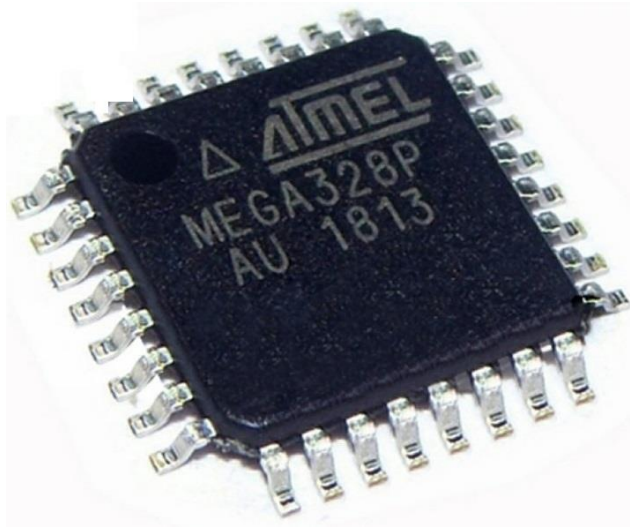


Рисунок 2.10 – Мікросхема мікроконтролера ATmega328PB.

У якості датчика вологості та температури вибираємо виріб DHT22 від фірми Waveshare. Напруга живлення 5 В.



Рисунок 2.11 – Датчик вологості та температури DHT22 від Waveshare.

У якості пристрою індикації вибираємо LCD 2004 I2C символний дисплей (синій) виробництва Китай. Має 20 символів 4 рядки. Керуванням по шині I2C. Напруга живлення 5 В.

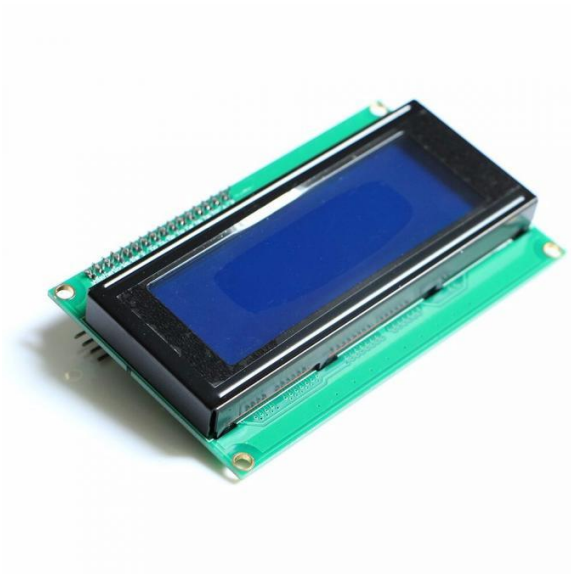


Рисунок 2.12 – LCD 2004 I2C символний дисплей 20x4 (синій).

Інвертор напруги, імпульсний перетворювач постійної напруги 3 роду та джерело живлення власних потреб не враховуються, тому що розробляються в іншому дипломному проєкті.

### **2.3 Розробка електричної-принципової схеми плати управління блоком підготовки повітря**

Повна електрична-принципова схема представлена на кресленні ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Е3.

Головним елементом плати управління є мікроконтролер ATmega328PB з тактовою частотою 16 МГц (DD1 на рис. 2.13).

Мікроконтролер Atmel ATmega328PB - це 8-бітний megaAVR пристрій високої якості і що володіє відмінною надійністю, який заснований на архітектурі RISC (покращеною AVR). Особливістю є технологія rISC Power, яка забезпечує наднизьке енергоспоживання та режими сну з низьким енергоспоживанням, що ідеально підходять для проєктів з батарейним живленням. Дані мікроконтролери є одними із найпопулярніших серій лінійки AVR. Прекрасно себе зарекомендували у різних галузях застосування [19].

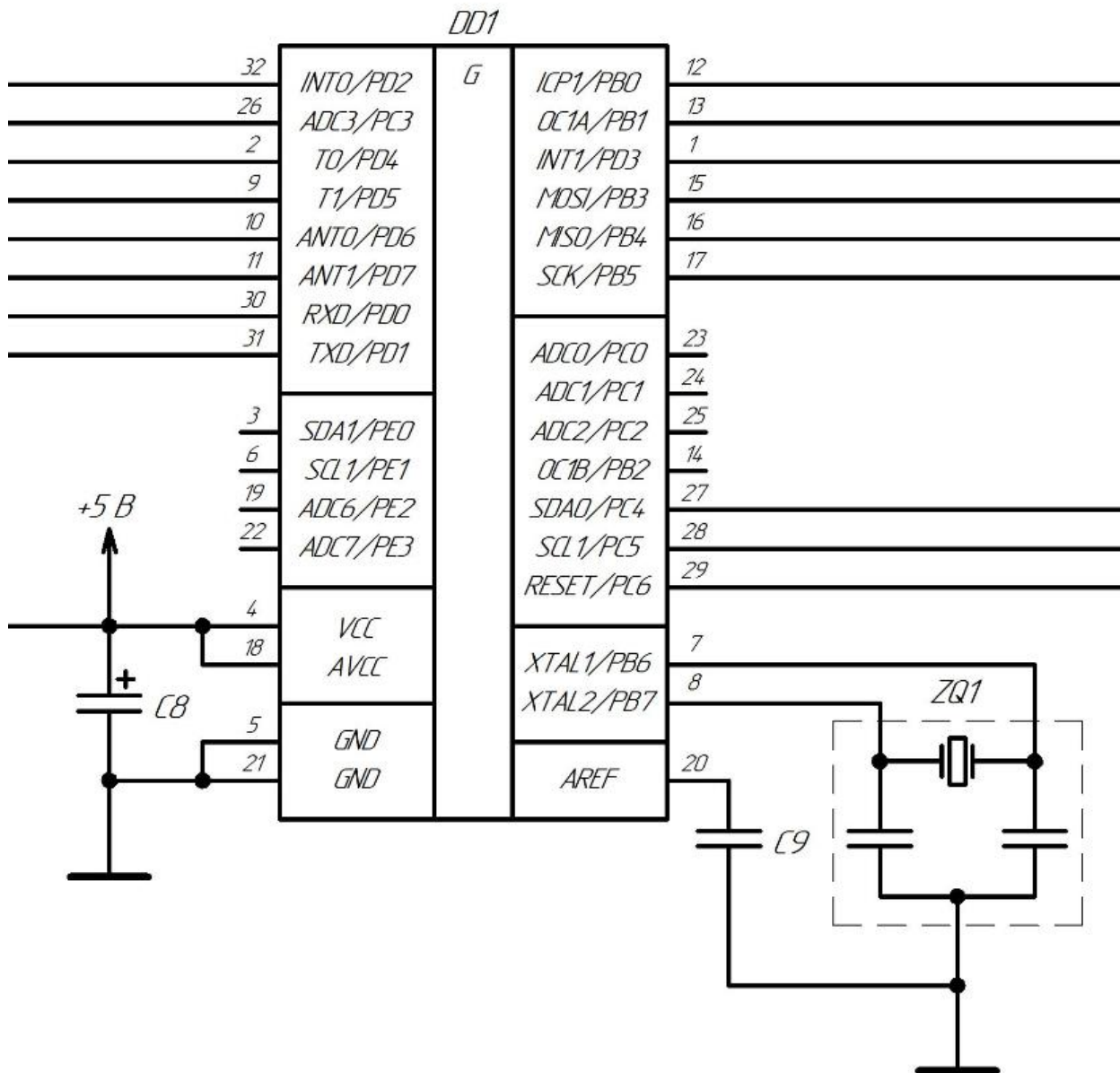


Рисунок 2.13 – Мікроконтролер АТmega328PB.

Об'єм пам'яті програм мікроконтролера АТmega328 становить 32 КБ (з них 2 КБ використовуються завантажувачем). Крім цього, АТmega328 має 2 КБ оперативної пам'яті SRAM та 1 КБ EEPROM (для взаємодії з якою служить бібліотека EEPROM).

На мікроконтролері доступно 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть бути використані як ШІМ) та 8 аналогових входів, кожен роздільною здатністю 10 біт (тобто може приймати 1024 різних значення).



Кожен вивод має внутрішній підтягуючий резистор (за замовчуванням вимкнено) 20-50 кОм і може пропускати до 40 мА.

До виводів PB6, PB7 підключено керамічний резонатор ZQ1 16 МГц який забезпечує високу стабільність тактової частоти мікроконтролера. До виводу AREF підключений конденсатор C9 100 нФ. Між выводами VCC та GND поблизу чіпа мікропроцесора під'єднано конденсатор C8 10 мкФ для забезпечення стабільності живлення.

Схема джерела живлення плати управління наведена на рисунку 2.14.

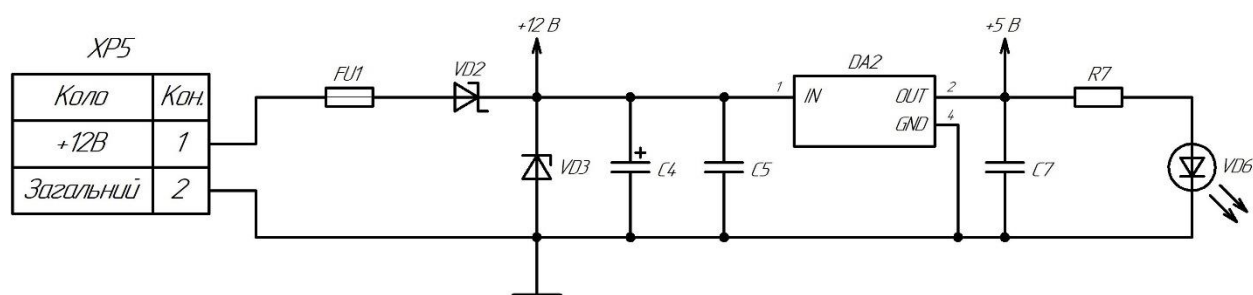


Рисунок 2.14 – Джерело живлення плати управління.

На платі керування встановлено лінійний понижувальний регулятор напруги L7805ACD2T-TR (DA2) з виходом 5 вольт, який забезпечує живлення мікроконтролера ATmega328PB та інших модулів плати. Максимальний вихідний струм становить 500 мА. Допустима вхідна напруга: 7 – 35 В.

У нашому випадку вхідна напруга складає 12 В.

Для згладжування пульсацій напруги з обох сторін стабілізатора встановлюються конденсатори C4 100 мкФ, C5 1 мкФ та C7 0,33 мкФ.

На вході джерела живлення встановлюється плавкий запобіжник FU1 1А, як захист від КЗ, діод шоттки STPS2L60A (VD2), як захист від підключення джерела живлення неправильно полярністю «переполюсування» та супресор SMAJ20A (VD3), як захист від перенапруження.

Червоний світлодіод (VD6) показує присутність напруги живлення 5 В.

Для завантаження прошивки в мікроконтролер ATmega328PB через програматор призначений роз'єм ICSP (рис. 2.15). Також через контакти цього роз'єму мікроконтролер може спілкуватися із платами розширення за інтерфейсом SPI.

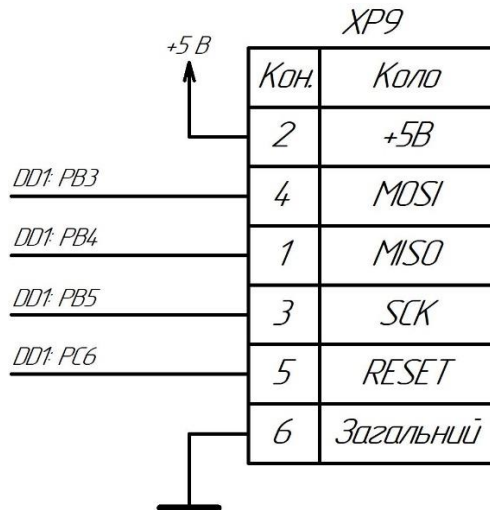


Рисунок 2.15 – Схема підключення роз'єму ICSP.

Для підключення датчиків використовується роз'єми XP1 та XP2 (рис. 2.16). Роз'єм XP1 призначений для підключення датчику вологості та температури DHT22. Роз'єм XP2 призначений для підключення резистивного датчика тиску. Опір резистора  $R1 = 1$  кОм.

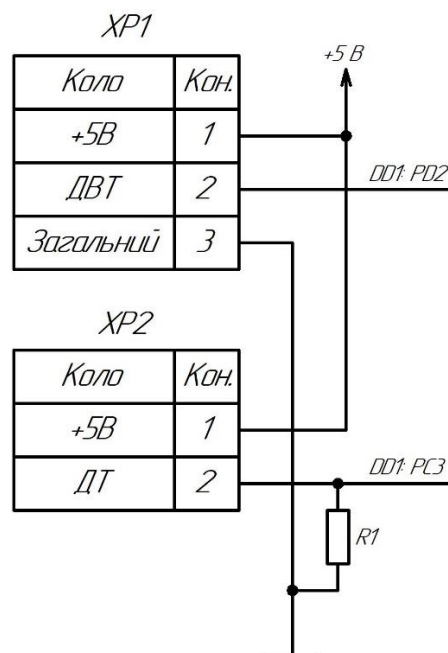


Рисунок 2.16 – Схема підключення датчиків.

Для завантаження прошивки в мікроконтролер ATmega328PB через комп'ютер використовується блок програмування (рис. 2.17).

Для підключення до комп'ютера використовується роз'єм Mini-B USB (XP4) та мікросхема CH340C (перетворювач інтерфейсу USB в UART, DA1).

Синій світлодіод (VD4) показує роботу порту TX інтерфейсу UART.

Зелений світлодіод (VD5) показує роботу порту RX інтерфейсу UART.

Кнопка SW1 призначена для апаратного скидання мікроконтролера, а порт DTR# мікросхеми CH340C для програмного скидання з комп'ютера. Вивід DTR# підключен до вивода RESET через конденсатор C6 100 нФ, щоб мікроконтролер не перезапустився надто рано після відправки сигналу скидання.

Вивід мікроконтролера RESET підтянутий до 5В через резистор R6 10 кОм.

Для стабільного живлення мікросхеми CH340C (DA1) через комп'ютер встановлені конденсатори C1 10 мкФ та C2 1 мкФ.

На виводі V3 потрібен конденсатор C3 100 нФ. Без цього конденсатора ПК з Windows не розпізнає USB-пристрій.

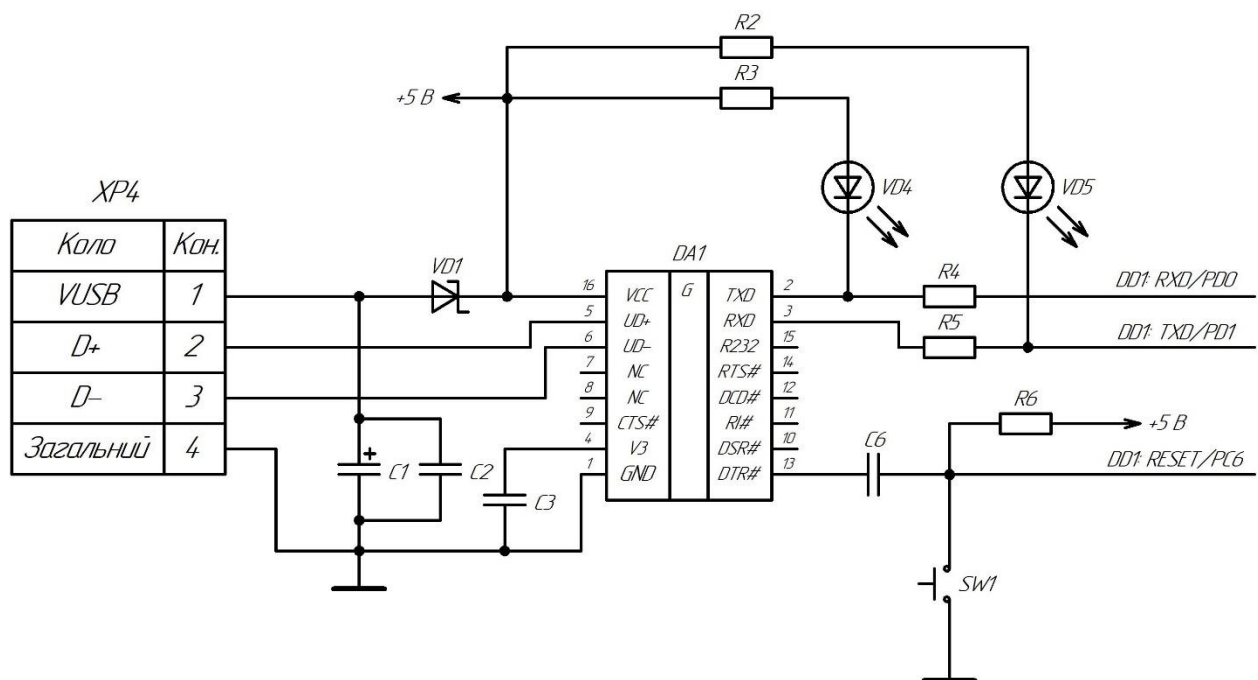


Рисунок 2.17 – Блок програмування через комп'ютер.

Роз'єм підключення кнопок управління наведено на рисунку 2.18. До роз'єму ХР3 підключаються кнопки SB1 «Пуск», SB2 «Скидання», SB3 «<>» та SB4 «>>».

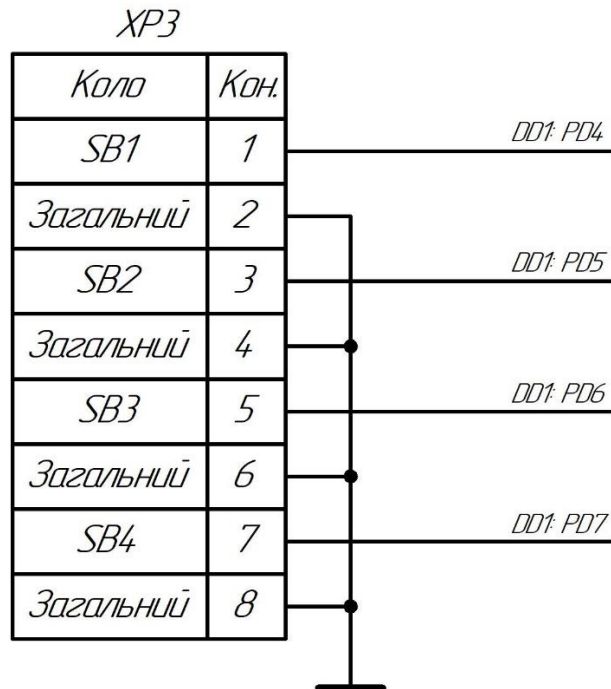


Рисунок 2.18 – Схема підключення кнопок управління.

Роз'єм ХР10 призначений для підключення LCD екрану з 20 символами та 4 рядками з управлінням по шині I2C (рис. 2.19).

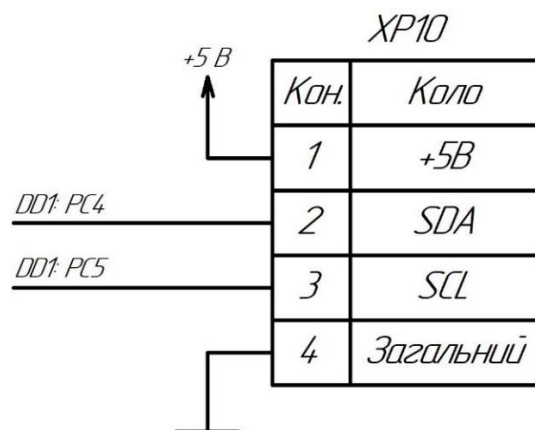


Рисунок 2.19 – Схема підключення LCD дисплею.

Вузол управління перетворювачами електричної енергії (рис. 2.20) призначений для включення/виключення ІППН 3 роду живлення компресора

(транзистор VT1 SS8050 та роз'єм XP6) та інвертора напруги живлення рефрижераторного осушувача (транзистор VT2 SS8050 та роз'єм XP7).

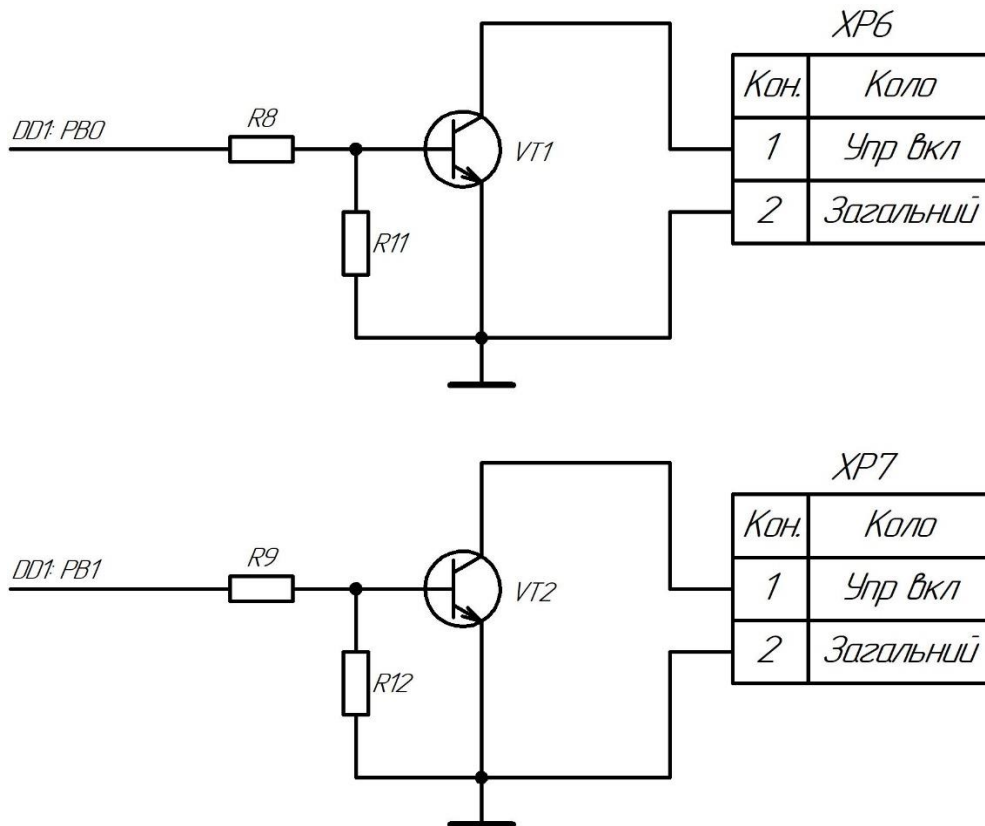


Рисунок 2.20 – Вузол управління перетворювачами електричної енергії.

Транзистори VT1, VT2 використовуються як виходи типу «відкритий колектор». У базі транзисторів стоять резистори R8 та R9 по 1 кОм. Між базою та емітером транзисторів встановлюються резистори R11, R12 по 560 Ом.

Вузол управління електромагнітним клапаном (рис. 2.21) призначений для вкл./викл. електромагнітного клапана скидання води з ресивера. Котушка реле підключається до роз'єму XP8. Зворотний діод VD7 MBR0540 призначений для захисту напівпровідникових ключів, транзисторів, а в потужних силових ланцюгах – контакторів, від перенапруг, що виникають при розмиканні ланцюга, що містить котушки індуктивності.

У якості ключа використовується транзистор VT1 SS8050 підключений по схемі «відкритий колектор». Резистор R10 має опір 1 кОм, а R13 – 560 Ом.

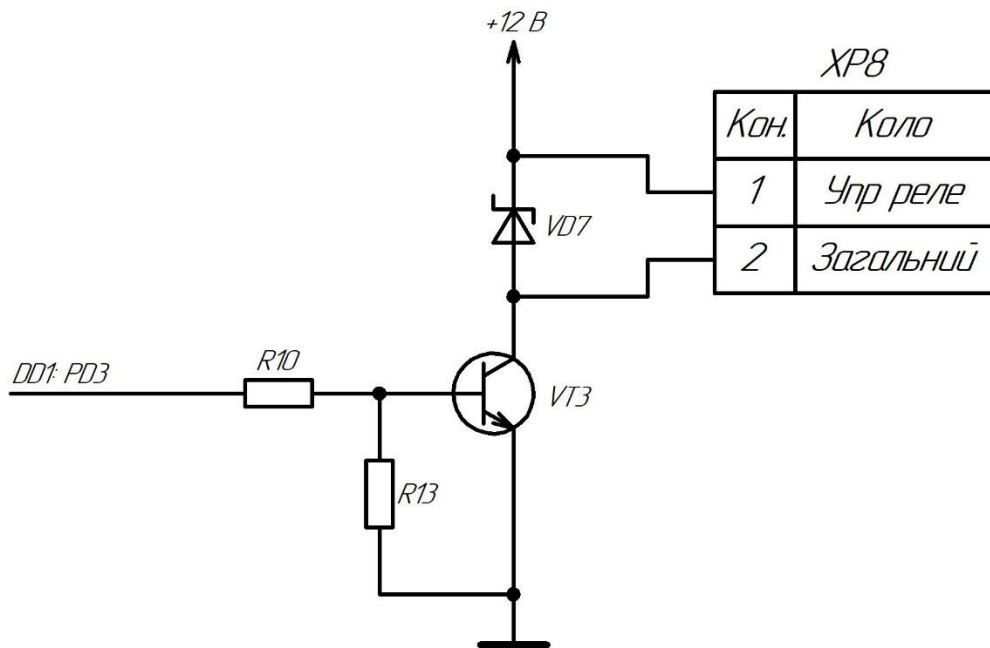


Рисунок 2.21 – Вузол управління електромагнітним клапаном.

### 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Для блока підготовки повітря розраховано потужності та енергоспоживання системи управління. Керуючим пристроєм є мікроконтролер для якого було розроблено алгоритм його роботи та написано програму.

#### 3.1 Розрахунок потужностей та енергоспоживання системи управління блоком підготовки повітря

Позначення елементів відповідають схемі електричній принциповій, що представлена на кресленні ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.ЕЗ.

Потужність компресора розраховується за формулою, Вт:

$$P_k = I_k \cdot U_k, \quad (3.1)$$

де  $I_k$  – струм споживання компресора, А;

$U_k$  – напруга живлення компресора, В;

$$P_k = 23 \cdot 12 = 276 \text{ Вт.}$$

Потужність рефрижераторного осушувача розраховується за формулою, Вт:

$$P_{PO} = I_{PO} \cdot U_{PO}, \quad (3.2)$$

де  $I_{PO}$  – струм споживання рефрижераторного осушувача, А;

$U_{PO}$  – напруга живлення рефрижераторного осушувача, В;

$$P_{PO} = 1,1 \cdot 220 = 242 \text{ Вт.}$$

Струм споживання мікроконтролера ATmega328pb  $I_{DD1} = 10$  мА.

Струм споживання підсвічування LCD дисплею  $I_{LCD} = 120$  мА.

Максимальний струм споживання логіки LCD дисплею  $I_{DDLCD} = 1,4$  мА.

Струм споживання датчика вологості та температури DHT22  
 $I_{DHT} = 2,5$  мА.

Максимальний струм споживання резистивного датчика тиску  
 $I_{RD} = 4,17$  мА.

Струм споживання мікросхеми CH340C становить  $I_{DA1} = 7$  мА.

Струм споживання світлодіодами розраховується за формулою, мА:

$$I_{VT} = \frac{U_{рез}}{R}, \quad (3.3)$$

де  $U_{рез}$  – результуюча напруга, що падає на резисторі, В;

$R$  – опір резистора, Ом.

$$I_{VT1} = \frac{U_{рез1}}{R_3} = \frac{3}{1\ 000} = 0,003\ \text{A} = 3\ \text{мА};$$

$$I_{VT2} = \frac{U_{рез1}}{R_2} = \frac{2,8}{1\ 000} = 0,0028\ \text{A} = 2,8\ \text{мА};$$

$$I_{VT3} = \frac{U_{рез1}}{R_7} = \frac{2}{1\ 000} = 0,002\ \text{A} = 2\ \text{мА}.$$

Результуюча напруга, що падає на резисторі розраховується по формулі:

$$U_{рез} = U_{жив} - U_{VT}, \quad (3.4)$$

де  $U_{жив}$  – напруга живлення, В;

$U_{VT}$  – напруга, що падає на світлодіоді, В;



$$U_{\text{рез1}} = U_{\text{жив}} - U_{VT1} = 5 - 2 = 3 \text{ В};$$

$$U_{\text{рез2}} = U_{\text{жив}} - U_{VT2} = 5 - 2,2 = 2,8 \text{ В};$$

$$U_{\text{рез3}} = U_{\text{жив}} - U_{VT3} = 5 - 3 = 2 \text{ В}.$$

Струм споживання 5 В лінії плати управління блоком підготовки повітря розраховується за формулою, мА:

$$I_{5\text{В}} = \sum I_{\text{пр}}, \quad (3.5)$$

де  $\sum I_{\text{пр}}$  – сума струмів споживання усіх пристроїв підключених до 5 В лінії живлення, мА;

$$\begin{aligned} I_{5\text{В}} &= I_{DD1} + I_{LCD} + I_{DDLCD} + I_{DHT} + I_{RD} + I_{DA1} + I_{VT1} + I_{VT2} + I_{VT3} = \\ &= 10 + 120 + 1,4 + 2,5 + 4,17 + 7 + 3 + 2,8 + 2 = 152,87 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Потужність 5 В лінії плати управління блоком підготовки повітря розраховується за формулою, мВт:

$$P_{5\text{В}} = I_{5\text{В}} \cdot U_{5\text{В}}, \quad (3.6)$$

де  $I_{5\text{В}}$  – струм споживання 5В лінії живлення плати управління, мА;

$U_{5\text{В}}$  – напруга живлення 5В лінії живлення плати управління, В;

$$P_{5\text{В}} = 152,87 \cdot 5 = 764,35 \text{ мВт}.$$

Потужність стабілізатора напруги плати управління блоком підготовки повітря розраховується за формулою, Вт:

$$P_{\text{СТ}} = I_{\text{СТ}} \cdot U_{\text{СТ}}, \quad (3.7)$$

де  $I_{CT}$  – струм що протікає через стабілізатор, мА;

$U_{CT}$  – напруга, що падає на стабілізаторі, В

$$P_{CT} = 152,87 \cdot 7 = 1\,070,09 \text{ мВт} = 1,07 \text{ Вт.}$$

Потужність 12 В лінії плати управління блоком підготовки повітря розраховується за формулою, Вт:

$$P_{12В} = I_{12В} \cdot U_{12В}, \quad (3.8)$$

де  $I_{12В}$  – струм споживання 12В лінії живлення плати управління, А;

$U_{12В}$  – напруга живлення 12В лінії живлення плати управління, В;

$$P_{12В} = 0,166 \cdot 12 = 2 \text{ Вт.}$$

Потужність джерела живлення власних потреб плати управління блоком підготовки повітря розраховується за формулою, Вт:

$$P_{ДЖВП} = P_{5В} + P_{CT} + P_{12В}, \quad (3.9)$$

$$P_{ДЖВП} = 0,764 + 1,07 + 2 = 3,83 \text{ Вт.}$$

Отже:

Потужність 12 В силової лінії живлення складає 276 Вт.

Потужність 220 В лінії живлення складає 242 Вт.

Потужність 12 В лінії управління складає 3,83 Вт.

### **3.2 Розробка алгоритму програми управління блоком підготовки повітря бортового озонатора**

Графічне зображення алгоритму роботи програми управління блоком підготовки повітря бортового озонатора наведено на кресленні ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Д1.

Алгоритм програми управління складається з двох основних частин: початкової і основної.

В початковій частині алгоритму підключаються необхідні бібліотеки, ініціалізуються змінні, константи, необхідні для роботи модулі та оголошуються функції.

Основна частина складається з нескінченного циклу в якому раз за разом перевіряється чи натиснути кнопки управління, час від часу знімаються данні з датчиків тиску, вологості та температури. На основі цих даних відбувається управління блоком підготовки повітря, тобто включаються або виключаються певні модулі, реле а також виводиться на пристрій індикації інформацію про температуру, вологість, тиск, тощо.

### **3.3 Написання програми роботи керуючого контролера**

Програмний код було написано у середовищі розробки Arduino IDE.

Повний код наведено у додатку А.

Скетч починається з директиви `#include`, вона використовується для включення сторонніх бібліотек до вашого скетчу.

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

У нашому випадку підключаємо бібліотеку `DHT.h` яка призначена для роботи з датчиками температури та вологості `DHT11/DHT21/DHT22`.

Бібліотека `Wire.h` використовується для зв'язку мікроконтролера із пристроями та модулями через інтерфейс I2C.

Бібліотека `LiquidCrystal_I2C.h` використовується для роботи із символьними графічними дисплеями.

Директива `#define` це зручна директива, яка дозволяє дати ім'я константі перед тим, як програма буде скомпільована. Визначені цією директивою константи не займають програмної пам'яті, оскільки компілятор замінює всі звернення до них їх значеннями на етапі компіляції, відповідно вони служать виключно для зручності програміста та покращення читання тексту програми.

У нашому випадку константи `#define` розділені для зручності на групи.

```
// Управління
```

```
#define PIN_WATER_DISCHARGE 3
```

```
#define PIN_DC_CONVERTER 8
```

```
#define PIN_VOLTAGE_INVERTER 9
```

```
#define TIMER_STEP 60000
```

```
#define TIME_AUTOMATIC_WATER_DISCHARGE 3000
```

У цьому місці вказані пінні мікроконтролера якими відбувається управління блоком підготовки повітря, а саме клапаном скидання води з ресивера, ІППН 3 роду живлення компресора та інвертором живлення рефрижераторного осушувача.

`TIMER_STEP 60000` – це крок зміни таймера скидання води кнопками SB3 та SB4 (60000 мілісекунд = 1 хвилина).

`TIME_AUTOMATIC_WATER_DISCHARGE 3000` – це час відкритого клапану скидання води (3 секунди).

```
// LCD дисплей
```

```
#define LCD_ADDRESS 0x27
```

```
#define LCD_NUMBER_OF_CHARACTERS 20
```

```
#define LCD_NUMBER_OF_LINES 4
```

```
#define PRESSURE_MIN_ATM 2
#define PRESSURE_MAX_ATM 9
#define ONE_MINUTE 60000
```

Вказуємо I2C адрес, кількість символів та рядків LCD дисплея.

Зазначасмо у яких границях буде виводиться на дисплей значення тиску.

ONE\_MINUTE – це коефіцієнт перерахунку мілісекунд у хвилини.

// Датчики

```
#define PIN_DHT 2
#define TYPE_DHT DHT22
#define PIN_PRESSURE_METER A3
#define PRESSURE_MIN 600
#define PRESSURE_MAX 850
```

Вказуємо пін підключення та тип датчика температури і вологості, а також пін підключення датчика тиску.

Визначаємо межі робочого тиску (значення АЦП), де 600 – це 2 атмосфери, а 850 – 9 атмосфер.

// Кнопки

```
#define PIN_BTN_SB1 4
#define PIN_BTN_SB2 5
#define PIN_BTN_SB3 6
#define PIN_BTN_SB4 7
```

Вказуємо піни контролеру до яких підключаємо кнопки управління.

```
const int arrSizeTimer = 7;
```

Константа arrSizeTimer визначає розмірність масиву arrTimer.

```

// Змінні
int water_reset_timer = 1800000;
int water_reset_timer_min = 60000;
int water_reset_timer_max = 7200000;
float h = 0;
float t = 0;
float pressure_meter = 0;
bool butflag1 = false;
bool butflag2 = false;
bool butflag3 = false;
bool butflag4 = false;
bool turn_on = false;
uint32_t timer_water = 0;
uint32_t btnTimer1 = 0;
uint32_t btnTimer2 = 0;
uint32_t btnTimer3 = 0;
uint32_t btnTimer4 = 0;
uint32_t arrTimer[arrSizeTimer] = {};

```

Далі оголошуємо змінні різних типів (необхідні таймери, логічні прапори та змінні для зчитування датчиків).

Змінні типу `int` - 32-бітові (4-байти) цілочисельні, що дає можливість зберігати значення в діапазоні від -2 147 483 648 до 2 147 483 647.

Змінні `float` це числа з плаваючою точкою мають 32 біти (4 байти) інформації і можуть досягати величезних значень від -3.4028235E+38 до 3.4028235E+38.

Змінні типу `bool` можуть набувати одне з двох значень: `true` або `false`. (Кожна змінна типу `bool` займає у пам'яті один байт.)

Змінні `uint32_t` це цілочисельний вбудований тип даних який займає 32 біти (4 байти), що дозволяє зберігати значення в діапазоні від 0 до 4 294 967 295.

```
DHT dht(PIN_DHT, TYPE_DHT);
LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_ADDRESS, LCD_NUMBER_OF
_CHARACTERERS, LCD_NUMBER_OF_LINES);
```

Оголошуємо об'єкт `dht` класу `DHT` із параметрами для роботи з датчиком `DHT22`.

Оголошуємо об'єкт `lcd` класу `LiquidCrystal_I2C` із параметрами для роботи з `LCD` дисплеєм.

```
// Оголошення функцій
```

```
void read_Button();
```

```
void main_control();
```

```
void show_LCD();
```

Основний код для зручності розділяємо на 3 функції.

```
void setup() {
```

```
  dht.begin();
```

```
  lcd.init();
```

```
  lcd.backlight();
```

```
  pinMode(PIN_BTN_SB1, INPUT_PULLUP);
```

```
  pinMode(PIN_BTN_SB2, INPUT_PULLUP);
```

```
  pinMode(PIN_BTN_SB3, INPUT_PULLUP);
```

```
  pinMode(PIN_BTN_SB4, INPUT_PULLUP);
```

```
  pinMode(PIN_WATER_DISCHARGE, OUTPUT);
```

```
  pinMode(PIN_DC_CONVERTER, OUTPUT);
```

```
  pinMode(PIN_VOLTAGE_INVERTER, OUTPUT);
```

```
}
```

Функція `setup()` викликається, коли стартує скетч. Використовується для ініціалізації змінних, визначення режимів роботи виводів, запуску бібліотек

тощо. Функція `setup` запускає лише один раз після кожної подачі живлення або скидання плати Arduino.

У нашому випадку ініціалізуємо датчик температури та вологості DHT. Ініціалізуємо дисплей та включаємо його підсвічування.

Для роботи з кнопками використовуємо параметр `INPUT_PULLUP` у функції `pinMode()`, який підтягує пін входу внутрішнім резистором до високого рівня.

Виводи, налаштовані функцією `pinMode()` як виходи (`OUTPUT`), знаходяться в низькоімпедансному стані. Це означає, що можуть забезпечити зовнішні ланцюги відносно великим струмом. Мікроконтролер ATmega може віддавати (позитивний струм) або приймати (негативний) струм до 40 мА (міліампер) від зовнішніх пристроїв/ланцюгів.

```
void loop() {
  read_Button();
  if (turn_on) {
    main_control();
    show_LCD();
  }
}
```

Функція `loop()` викликається після функції `setup()`. Функція являє собою нескінченний цикл, в якому виконується програма користувача.

У нашому випадку кожен цикл виконується функція зчитування кнопок `read_Button()` і якщо змінна `turn_on` буде дорівнювати `true` (тобто включимо блок підготовки повітря), буде виконуватись функції `main_control()` та `show_LCD()`.

```
void read_Button() {
  bool btnState1 = !digitalRead(PIN_BTN_SB1);
  if (btnState1 && !butflag1 && millis() - btnTimer1 > 100) {
```



```
    butflag1 = true;
    turn_on = !turn_on;
    btnTimer1 = millis();
}
if (!btnState1 && butflag1 && millis() - btnTimer1 > 100) {
    butflag1 = false;
    btnTimer1 = millis();
}
bool btnState2 = !digitalRead(PIN_BTN_SB2);
if (btnState2 && !butflag2 && millis() - btnTimer2 > 100) {
    butflag2 = true;
    btnTimer2 = millis();
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, HIGH);
}
if (!btnState2 && butflag2 && millis() - btnTimer2 > 100) {
    butflag2 = false;
    btnTimer2 = millis();
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, LOW);
}
bool btnState3 = !digitalRead(PIN_BTN_SB3);
if (btnState3 && !butflag3 && millis() - btnTimer3 > 100) {
    butflag3 = true;
    btnTimer3 = millis();
    water_reset_timer -= TIMER_STEP;
}
if (!btnState3 && butflag3 && millis() - btnTimer3 > 100) {
    butflag3 = false;
    btnTimer3 = millis();
}
bool btnState4 = !digitalRead(PIN_BTN_SB4);
```

```

if (btnState4 && !butflag4 && millis() - btnTimer4 > 100) {
    butflag4 = true;
    btnTimer4 = millis();
    water_reset_timer += TIMER_STEP;
}
if (!btnState4 && butflag4 && millis() - btnTimer4 > 100) {
    butflag4 = false;
    btnTimer4 = millis();
}
}
}

```

У більшості реальних застосувань працювати з поточним станом кнопки дуже незручно, наприклад, коли дія повинна бути виконана одноразово при натисканні на кнопку. Трохи ускладнимо конструкцію, додавши один прапор, який пам'ятатиме стан кнопки. Така конструкція дозволяє відстежувати натискання та відпускання кнопки та реагувати на них одноразово.

Кнопка не ідеальна, і контакт замикається не відразу, якийсь час він "деренчить". Програмно можна ввести найпростіший таймер натискання, заснований на `millis()`, час гасіння брязкоту прийемо 100 мілісекунд.

Таким чином маємо, що перша кнопка SB1 включає або виключає по натисканню блок підготовки повітря.

Друга кнопка призначена для ручного скидання води з ресивера (клапан зливу води відкритий поки натиснуто на кнопку і закритий коли кнопка не натиснута).

Третя кнопка призначена для зменшення таймера автоматичного скидання води на 1 хвилину.

Четверта кнопка призначена для збільшення таймера автоматичного скидання води на 1 хвилину.

За замовчуванням таймер автоматичного скидання води встановлено на 30 хвилин. Його можна встановити кнопками SB3 та SB4 від 1 до 120 хвилин із кроком в одну хвилину.

```

void main_control() {
  if (millis() - arrTimer[0] >= 2000) {
    arrTimer[0] = millis();
    h = dht.readHumidity();
    t = dht.readTemperature();
  }
  if (millis() - arrTimer[1] >= 100) {
    arrTimer[1] = millis();
    pressure_meter = (float)analogRead(PIN_PRESSURE_METER);
  }
  if (millis() - arrTimer[2] >= 1000 && pressure_meter <
PRESSURE_MIN) {
    arrTimer[2] = millis();
    digitalWrite(PIN_DC_CONVERTER, HIGH);
    digitalWrite(PIN_VOLTAGE_INVERTER, LOW);
  }

  if (millis() - arrTimer[3] >= 200 && pressure_meter >=
PRESSURE_MAX) {
    arrTimer[3] = millis();
    digitalWrite(PIN_DC_CONVERTER, LOW);
  }
  if (millis() - arrTimer[4] >= 1000 && pressure_meter >
PRESSURE_MIN) {
    arrTimer[4] = millis();
    digitalWrite(PIN_VOLTAGE_INVERTER, HIGH);
  }
  if (millis() - arrTimer[5] >= water_reset_timer) {
    arrTimer[5] = millis();
  }
}

```

```

digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, HIGH);
timer_water = millis();
}
if (millis() - timer_water >= TIME_AUTOMATIC_WATER
_DISCHARGE) {
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, LOW);
}
if (water_reset_timer > water_reset_timer_max) {
    water_reset_timer = water_reset_timer_min;
}
if (water_reset_timer < water_reset_timer_min) {
    water_reset_timer = water_reset_timer_max;
}
}
}

```

Мікроконтролер може виконувати лише одне завдання в один момент часу, тому що у нього одне обчислювальне ядро.

Більшість дій не вимагають постійного виконання: наприклад, нам не потрібно мільйон разів на секунду оновлювати дисплей, опитувати кнопки або датчики – достатньо робити це кілька разів на секунду за допомогою програмного таймера. Деякі дії вимагають відносно великого часу роботи процесора, наприклад, складні обчислення або відправлення зображення на дисплей, і за цей час ми можемо пропустити якусь важливу подію (імпульс з датчика обертів, поворот енкодера, вхідні дані по інтерфейсу зв'язку).

За допомогою функцій часу `millis()` можна організувати програмний таймер, яким і виконувати потрібні дії.

Заводимо змінну для таймера типу `uint32_t` саме цей тип повертає `millis()`.

Шукаємо різницю між поточним часом роботи програми та змінною таймера.

Якщо різниця більша за необхідний період – виконуємо потрібний код і скидаємо таймер.

Так робимо у кожному необхідному випадку.

Таким чином раз на дві секунди ми вимірюємо температуру та вологість за допомогою датчика.

Та 10 разів на секунду вимірюємо тиск.

Раз на секунду перевіряємо рівень тиску в ресивері . Якщо він менше мінімуму, включаємо ІППН 3 роду живлення компресора і вимикаємо інвертор живлення рефрижераторного осушувача.

У 5 разів частіше перевіряємо чи не перевищив рівень тиску максимального значення. У разі перевищення вимикаємо ІППН 3 роду живлення компресора і чекаємо поки рівень тиску не буде менше мінімуму.

Також раз на секунду дивимося і включаємо інвертор живлення рефрижераторного осушувача якщо рівень тиску більше мінімуму.

Раз у зазначений час таймеру автоматичного скидання води (за замовчуванням 30 хвилин) на 3 секунди відкривається клапан скидання води з ресивера.

Таймер автоматичного скидання води зациклений, тобто у разі спроби встановити більше 120 хвилин таймер скинеться до 1 хвилини і навпаки.

```
void show_LCD() {
  if (millis() - arrTimer[6] >= 1000) {
    arrTimer[6] = millis();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Humidity ");
    lcd.print(h);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Temperature ");
    lcd.print(t);
```

```
lcd.write(223);  
lcd.print("C");  
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("Pressure ");  
lcd.print(map(pressure_meter, PRESSURE_MIN,  
PRESSURE_MAX, PRESSURE_MIN_ATM, PRESSURE_MAX_ATM));  
lcd.print("atm");  
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print("Water reset timer ");  
lcd.print(water_reset_timer/ONE_MINUTE);  
lcd.print("min");  
}  
}
```

Раз на секунду виводимо інформацію на екран.

У першому рядку виводимо значення вологості у відсотках.

У другому – значення температури у градусах Цельсія.

У третьому – значення тиску вже перетворені на атмосфери.

У четвертому – значення таймеру автоматичного скидання води у хвилинах.

## **4 ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ, ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ**

Для розробки друкованих плат використовуються середовища автоматизації проектування електроніки такі як easyEDA, DipTrace, Altium Designer, Sprint layout, тощо. В нашому випадку використовується EasyEDA, через те, що вона безкоштовна та дуже зручна у використанні.

Для виготовлення печатних плат в домашніх умовах є 2 технології:

1. ЛУТ (лазерно-праскова технологія) – це метод виготовлення друкованих плат, перенесенням малюнка надрукованого на лазерному принтері на мідне покриття текстоліту за допомогою нагрівання праскою (термоперенесення).

2. Фоторезист – на шар міді наноситься фоточутливий шар. Далі через фотошаблон засвічуються (зазвичай ультрафіолетом) певні ділянки, після чого у спеціальному розчині змиваються непотрібні ділянки фоточутливого шару. Таким чином формується необхідний малюнок на мідному шарі.

### **4.1 Розробка друкованої плати**

Розробка друкованої плати управління блоком підготовки повітря виконувалась в програмі easyEDA - середовищі автоматизації проектування електроніки.

Плата розроблялася на основі схеми електричної принципової ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.Е3.

Розроблена плата представлена на кресленні ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Е4, у 2D виді на рисунках 4.1, 4.2, у 3D виді на рисунках 4.3, 4.4.

Плата вироблена на двосторонньому фольгованому склотекстоліті товщиною листа 1 мм, товщина фольги 35 мкм.

Розміри плати 74,5x64 мм.

По кутах плати розташовані монтажні отвори діаметром 3 мм.

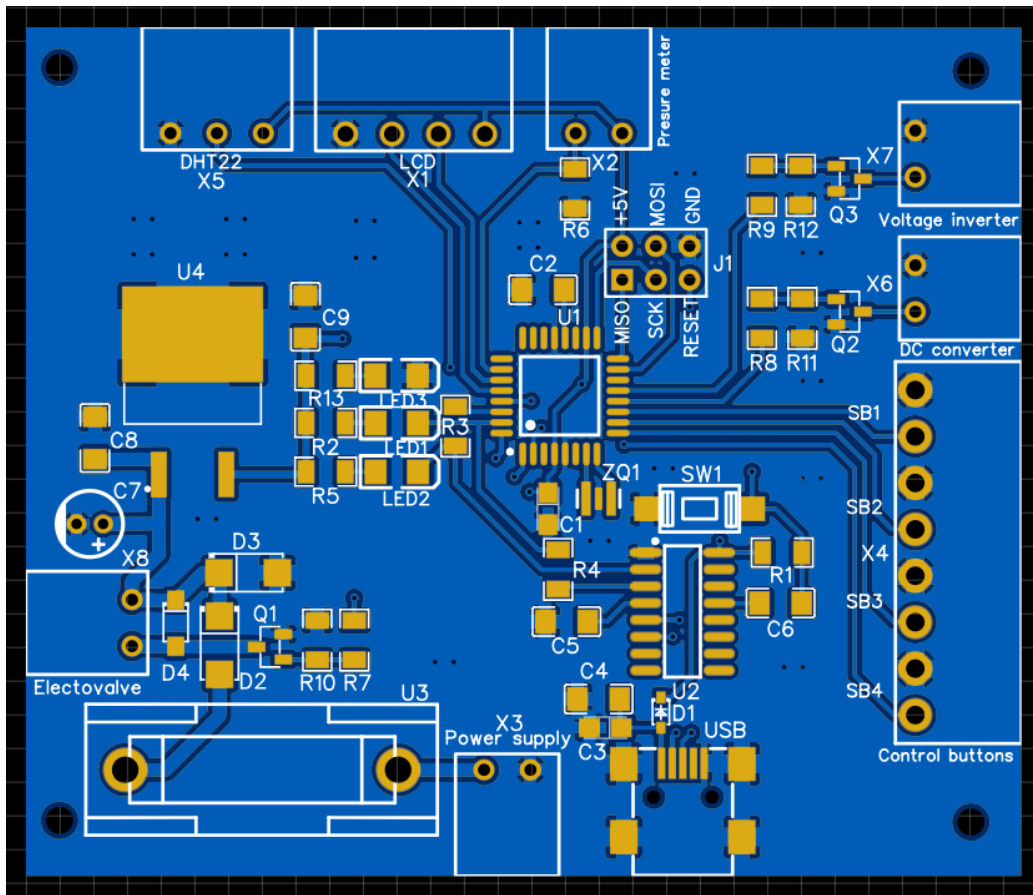


Рисунок 4.1 – Верхня сторона 2D виду плати.

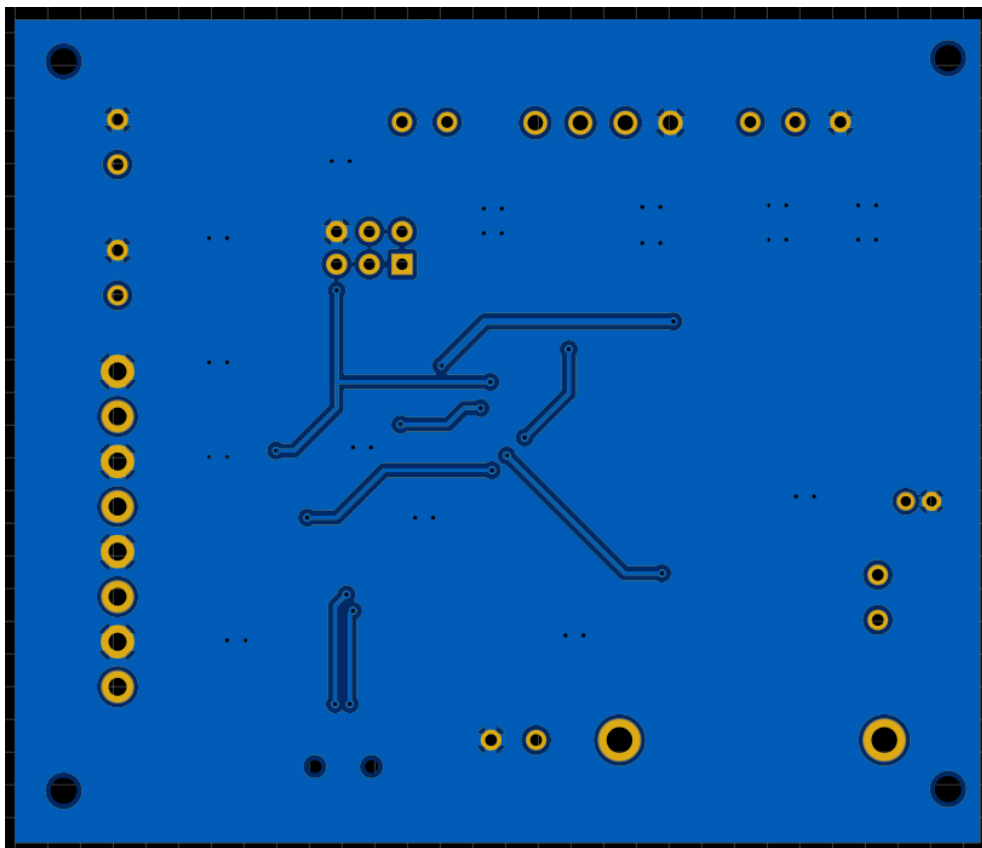


Рисунок 4.2 – Нижня сторона 2D виду плати.



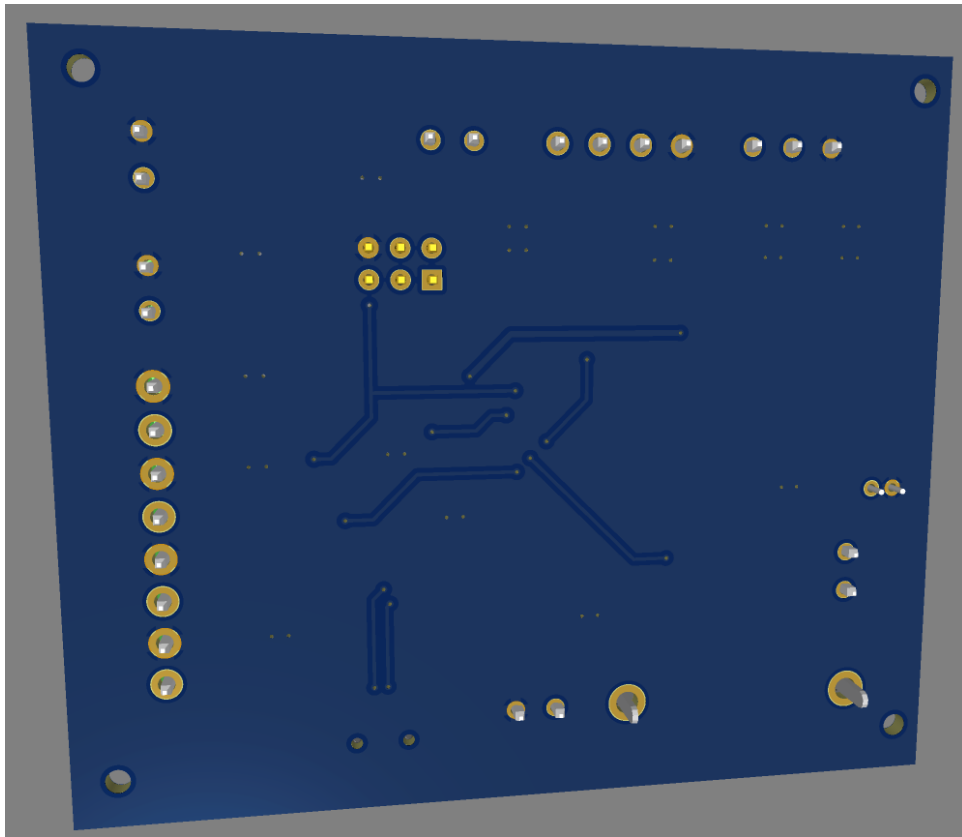


Рисунок 4.3 – Нижня сторона 3D виду плати.

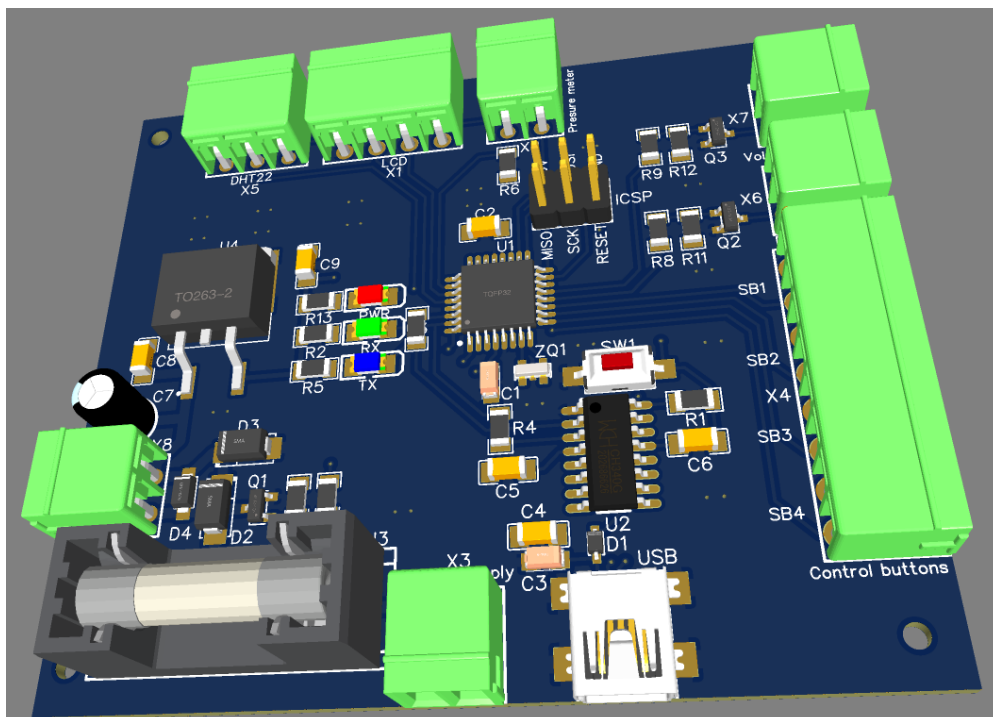


Рисунок 4.4 – Верхня сторона 3D виду плати.

Крім роз'ємів та одного електролітичного конденсатора інші елементи мають SMD виконання та кріпляться на плату поверхневим монтажем.

## 4.2 Технологія виготовлення друкованих плат в домашніх умовах

Для виготовлення печатної плати необхідно виконати трасування плати в середовищі автоматизації проектування електроніки таких як DipTrace, easyEDA, Sprint layout і т.д.

Для виготовлення печатної плати у нашому випадку методом фоторезисту необхідно: плівковий фоторезист негативний, фольгований склотекстоліт, ультрафіолетова лампа і роздрукований на прозорій плівці для лазерного друку негатив плати (шаблон).

Текстоліт необхідно зачистити дрібнозернистим наждачним папером, знежирити ізопропіловим спиртом та наклеїти фоторезист.

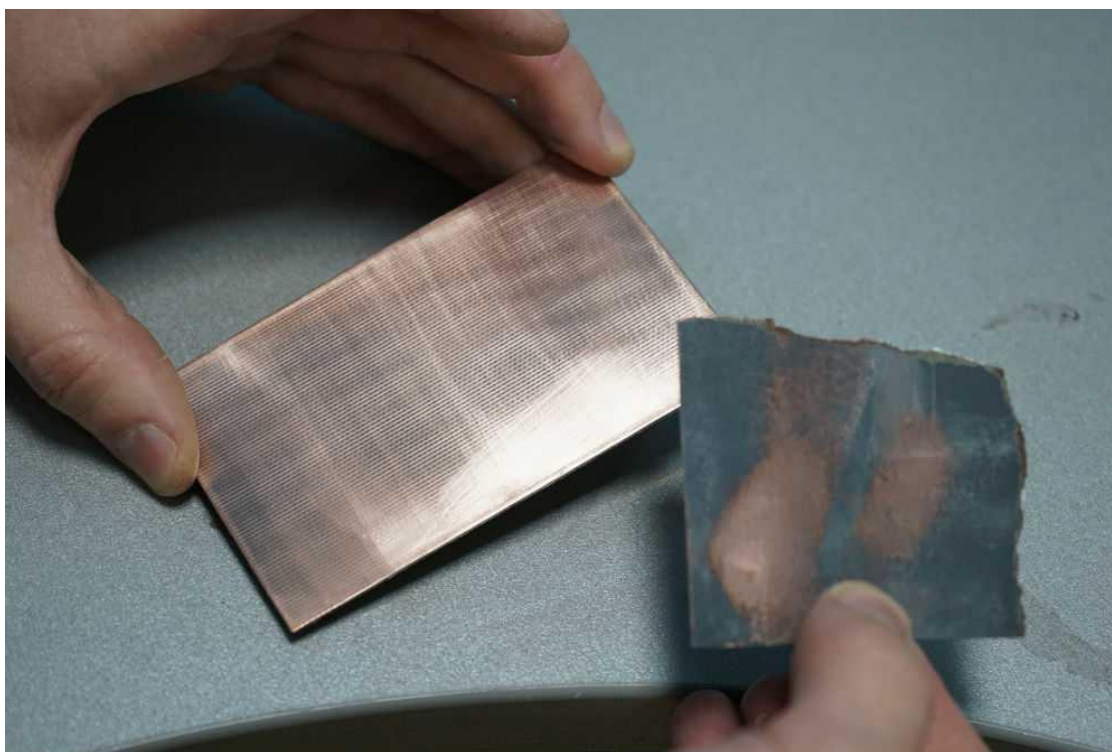


Рисунок 4.5 – Текстоліт зачищений наждачним папером.

Під час наклеювання варто уникати потрапляння яскравого та особливо сонячного світла, тому що під їх впливом відбувається його полімеризація. Для кращої адгезії, після приклеювання необхідно пропустити плату через ламінатор, або прогладити праскою на мінімумі через паперову підкладку [20].



Рисунок 4.6 – Процес наклеювання фоторезисту на текстоліт.

Далі на підготовлену до експонування плату треба покласти негативний шаблон плати, накрити прозорим склом і поставити під ультрафіолетову лампу.

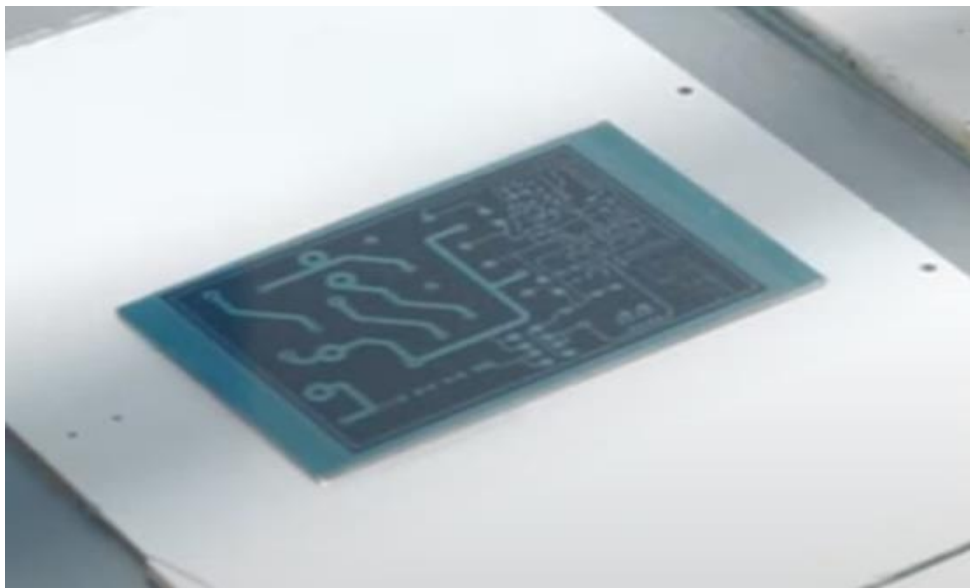


Рисунок 4.7 – Процес засвічування фоторезисту.

Через кілька хвилин (визначається експериментально) потрібно дістати, і вже можна бачити контури майбутніх доріжок. Проявляти потрібно в розчині лугу, далі промити водою, і плата готова до травлення [20].



Рисунок 4.8 – Процес проявлення в розчині лугу.

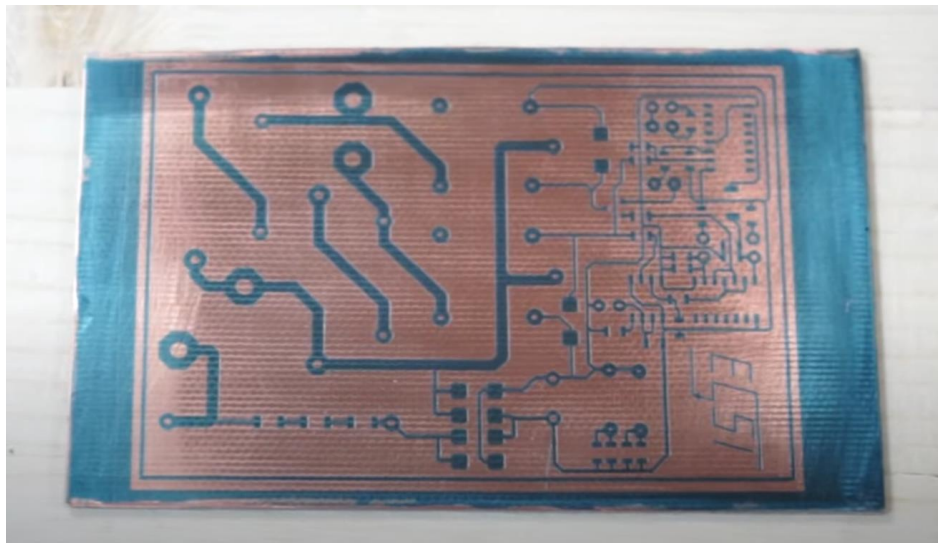


Рисунок 4.9 – Плата готова до травлення.

Травлення у нашому випадку будемо робити класичним способом, тобто у розчині хлорного заліза, це дешевий та ефективний розчин для травлення, також його можна підігріти, що прискорить процес.



Рисунок 4.10 – Процес травлення плати у розчині хлорного заліза.

Через деякий час (в залежності від свіжості та консистенції розчину) плата готова, треба дістати з розчину, промити водою, і змити фоторезист, що залишився ацетоном або іншим розчинником.



Рисунок 4.11 – Процес змивання хлорного заліза водою.

На цьому процес виготовлення печатної плати методом фоторезисту закінчується, але для кращого захисту від зовнішнього впливу та підвищення естетичних якостей, а також полегшення монтажу компонентів SMD можна нанести захисну маску. Для цього застосовується однокомпонентна паяльна маска з ультрафіолетовим затвердінням [20].

На краї плати необхідно наклеїти скотч, який служить як кріплення плати до підкладки.

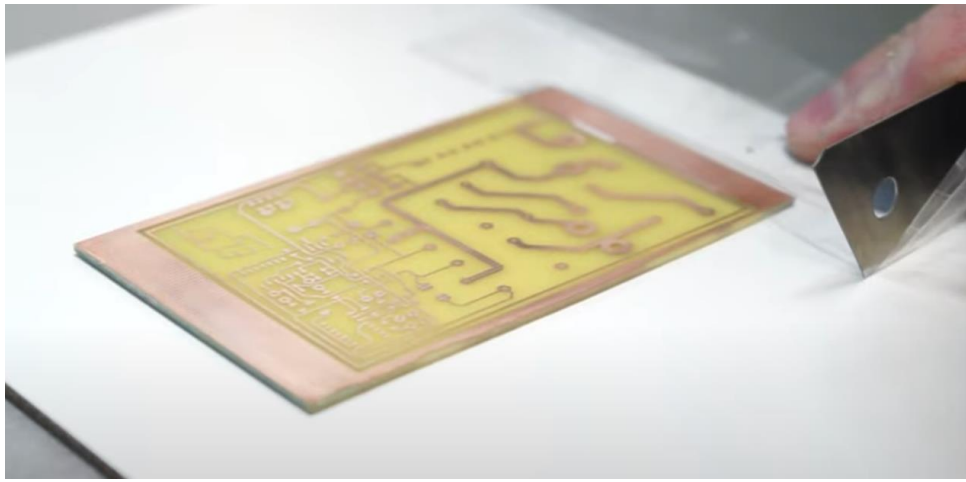


Рисунок 4.12 – Кріплення плати до підкладки.

Далі на край плати треба викласти валик паяльної маски, накрити лавсановою плівкою і розгладити рівним предметом.



Рисунок 4.13 – Нанесення паяльної маски на плату.

Далі потрібно надрукувати на прозорій плівці для лазерного друку фотошаблон, накласти на плату, накрити прозорим склом, та поставити під ультрафіолет.

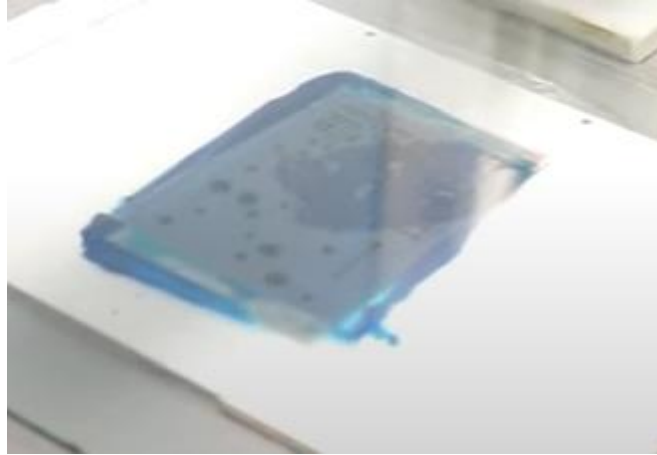


Рисунок 4.14 – Процес засвічування паяльної маски.

Після 40 хвилин (в залежності від потужності УФ лампи) треба зняти плівку та ізопропіловим спиртом змити маску, що не полімеризувалась.

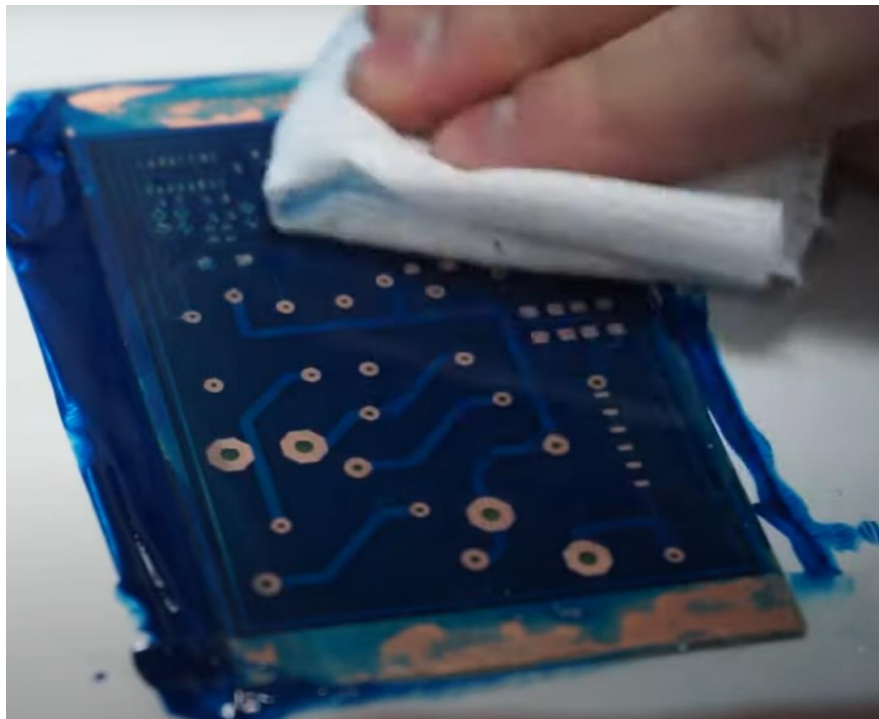


Рисунок 4.15 – Змивання не засвіченої паяльної маски ізопропіловим спиртом.

Після промивання треба поставити плату під ультрафіолет ще на 1-2 години (в залежності від потужності УФ лампи) для остаточної полімеризації паяльної маски [20].

Плата готова. Залишаються стандартні процедури, такі як свердління, обрізання та остаточне складання.



Рисунок 4.16 – Процес свердління плати.

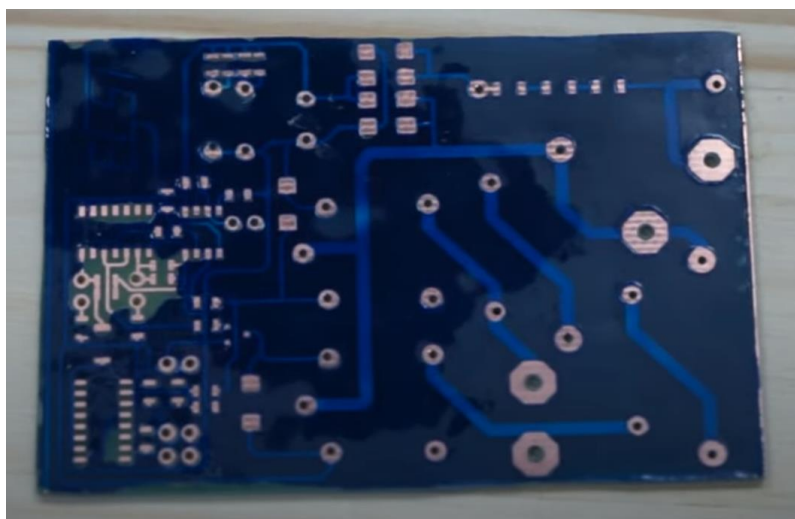


Рисунок 4.17 – Фінальний результат печатної плати виготовленої методом фоторезисту.



### **4.3 Охорона праці**

Охорона праці і техніка безпеки в Україні забезпечуються прийнятими основними нормативними документами такими, як ПУЕ-2017 - Правила улаштування електроустановок, НПАОП 40.1-1.01-97 - Правила безпечної експлуатації електроустановок, Закон України "Про охорону праці" від 01.01.2004р. №229-1У, тощо.

#### **4.3.1 Техніка безпеки у складальному цеху**

Складання та паяння радіоелектронної апаратури та приладів повинно проводитись в окремих приміщеннях. У приміщеннях, де проводиться складання та паяння, необхідно встановити шафи з мийними баками для миття інвентарю. Робочі поверхні столів або обладнання, а також поверхні ящиків для зберігання інструментів повинні бути покриті гладким матеріалом, що легко обмивається. Усі вентиляційні пристрої, що обслуговують монтажно-складальні пости та інше виробниче обладнання, не можна поєднувати в одну вентиляційну установку. Повітропроводи повинні очищатися регулярно через 0,5-1 міс залежно від інтенсивності технологічного процесу.

Біля умивальників (з гарячою та холодною водою) повинні бути встановлені бачки з 1% розчином оцтової кислоти або змивною пастою на основі ОП-7 для миття рук.

Мити підлогу на ділянці слід після закінчення кожної робочої зміни, не рідше одного разу на два тижні робити загальне вологе прибирання всього робочого приміщення. Робочі поверхні столів, ящики для зберігання робочого одягу та особистих речей, що працюють щотижня всередині та зовні, необхідно промивати гарячою водою з милом.

При виконанні типових технологічних процесів складання та паяння у виробництві радіоелектронної апаратури та приладів можуть виникнути електробезпека, пожежонебезпека, вибухонебезпечність, небезпека теплового опіку, небезпека хімічного опіку, небезпека травмування від

механічних факторів, отруєння, шум, вібрація. Джерелами (носіями) небезпеки є:

1. Електроустаткування (ураження електричним струмом може виникнути при ненадійному заземленні всіх вузлів обладнання, які можуть опинитися під напругою; при дотику до відкритих струмопровідних частин обладнання; при неякісній ізоляції зовнішньої електропроводки);

2. Легкозаймисті рідини (ЛЗР) та захисні рідини, що застосовуються при видаленні залишків флюсу, розконсервації, лудженні та пайці (спирт, бензин, ацетон, розчинник тощо);

3. Статична електрика, балони зі стислим гелієм, каніфоль (вибух може статися: від наявності в повітрі парів ЛЗР та горючих розчинників, що досягли вибухонебезпечних концентрацій; від скупчення та розряду електростатичних зарядів у повітроводах витяжних і вентиляційних установок, тощо);

4. Розжарені металеві поверхні та хімікати (теплові опіки можна отримати: від попадання на шкіру розплавленого припою або флюсу; від дотику до нагрітих деталей, частин обладнання чи інструменту);

5. Розчини кислот та лугів (хімічні опіки можна отримати при виконанні операцій декапування та видалення анодної плівки з поверхні монтажних елементів розчинами кислот);

6. Рухомі частини обладнання та транспортовані матеріали та обладнання (травму від механічних факторів можливо отримати під час налаштування та регулювання обладнання; під час завантаження, вивантаження або перенесення матеріалів - припоїв у злитках, рідини в тарі, газових балонів - деталей та пристроїв);

7. Токсичні речовини (небезпека отруєння та захворювань шкіри може виникнути при виконанні операцій, пов'язаних з використанням токсичних матеріалів: лудженні та пайці припоями, що містять свинець, вісмут, цинк, кадмій; роботі з флюсами, що містять хлористі та фтористі сполуки: триетаноламін, діетиламін та гідр; розконсервації та видалення залишків флюсу трихлоретиленом та хлористим метиленом).

### 4.3.2 Розрахунок пристрою заземлення

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до розрахунку заземлювача, так як заземлюючі провідники в більшості випадків приймають за умовами механічної міцності і стійкості до корозії.

Нормований опір відповідно до ПУЕ становить 4 Ом. Контур заземлення передбачається спорудити з зовнішньої сторони з розташуванням вертикальних електродів по контуру. В якості вертикальних заземлювачів приймаємо електроди з діаметром 20 мм і довжиною 2,5 м, які занурюються в ґрунт. Верхні кінці електродів маємо на глибині 0,5 м від поверхні землі. До них приварюються горизонтальні електроди з тієї ж сталі, що і вертикальні електроди.

Попередньо з урахуванням площі (20x15 м), займаної об'єктом, намічаємо розташування заземлювачів по периметру довжиною 70 м.

Верхній шар ґрунту – земля садова, нижній шар ґрунту – суглинок.

Параметри двошарового ґрунту в місці спорудження, кліматичні коефіцієнти та інші вихідні дані для розрахунку зведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значе- ння
$R_t$	Нормований опір розтікання струму в землю	Ом	4
$\rho_1$	Питомий опір верхнього слою ґрунту	Ом*м	50
$\rho_2$	Питомий опір нижнього слою ґрунту	Ом*м	100
d	Діаметр стержня	мм	20
L	Довжина вертикального заземлювача	м	2,5
H	Товщина верхнього слою ґрунту	м	1
$t_{\text{полоси}}$	Глибина закладення горизонтального заземлювача	м	0,5

Продовження таблиці 4.1

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$t$	Відстань від поверхні землі до середини заземлювача	м	1,75
$k_1$	Кліматичний коефіцієнт для вертикальних електродів	–	1,9
$k_2$	Кліматичний коефіцієнт для горизонтальних електродів	–	5,75
$b$	Ширина сталевієї полоси	мм	50
$l_{\Gamma}$	Довжина горизонтального заземлювача	м	60

Питома розрахунковий коефіцієнт опору двошарового ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t_{\text{полосы}}) + \rho_2 \cdot (H - t_{\text{полосы}}))}, \quad (4.1)$$

$$\rho = \frac{(50 \cdot 100 \cdot 2,5)}{(50 \cdot (2,5 - 1 + 0,5) + 100 \cdot (1 - 0,5))} = 83,33 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір розтіканню одного вертикального електрода визначаємо за формулою:

$$r_B = \frac{0,366 \cdot k_1 \cdot \rho}{L} \cdot \left( \lg \left( \frac{2 \cdot L}{0,95 \cdot d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right) \right), \quad (4.2)$$

$$r_B = \frac{0,366 \cdot 1,9 \cdot 83,33}{2,5} \cdot \left( \lg \left( \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 1000}{0,95 \cdot 20} \right) + \frac{1}{2} \cdot \lg \left( \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) \right) = 59,86 \text{ Ом}.$$

Передбачувана кількість вертикальних заземлювачів визначаємо за формулою:

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_i \cdot \eta_{\text{в}}}, \quad (4.3)$$

де  $\eta_{\text{в}}$  - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів;

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{59,86}{4 \cdot 0,66} = 23 \text{ шт.}$$

Таблиця 4.2 – Параметри вертикальних і горизонтальних заземлювачів

Позначення	Найменування	Од. вим.	Значення
$\eta_{\text{в}}$	Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів	–	0,66
$\eta_{\text{г}}$	Коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів	–	0,36
$h$	Відстань між заземлювачами	м	3

Опір горизонтального заземлювача визначимо за формулою:

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot k_2 \cdot \rho}{l_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{г}}} \cdot \lg \left( \frac{2l_{\text{г}}^2}{b \cdot t_{\text{полоси}}} \right), \quad (4.4)$$

$$r_{\text{г}} = \frac{0,366 \cdot 5,75 \cdot 83,33}{60 \cdot 0,36} \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 60^2 \cdot 1000}{50 \cdot 0,5} \right) = 44,32 \text{ Ом.}$$

Опір вертикальних заземлювачів  $R$  не повинно перевищувати значення визначається за формулою:

$$R = \frac{R_i \cdot r_{\text{г}}}{r_{\text{г}} - R_i}, \quad (4.5)$$

$$R = \frac{4 \cdot 44,32}{44,32 - 4} = 4,4 \text{ Ом.}$$

З урахуванням повного опору вертикальних заземлювачів уточнене кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням сполучної смуги визначається за формулою:

$$n = \frac{r_B}{R \cdot \eta_B}, \quad (4.6)$$

$$n = \frac{59,86}{4,4 \cdot 0,66} = 21 \text{ шт.}$$

Приймаються до установки 21 вертикальних заземлювачів, загальна довжина горизонтального заземлювача 60 м при середній відстані між вертикальними заземлювачами 3 м. Остаточне відстань між вертикальними заземлювачами уздовж сполучної смуги вказується на плані заземлювального пристрою.

Конструкція заземлюючого пристрою вказано на рисунку 4.18, а монтажні параметри одиночного заземлювача в двошаровому ґрунті на рисунку 4.19.

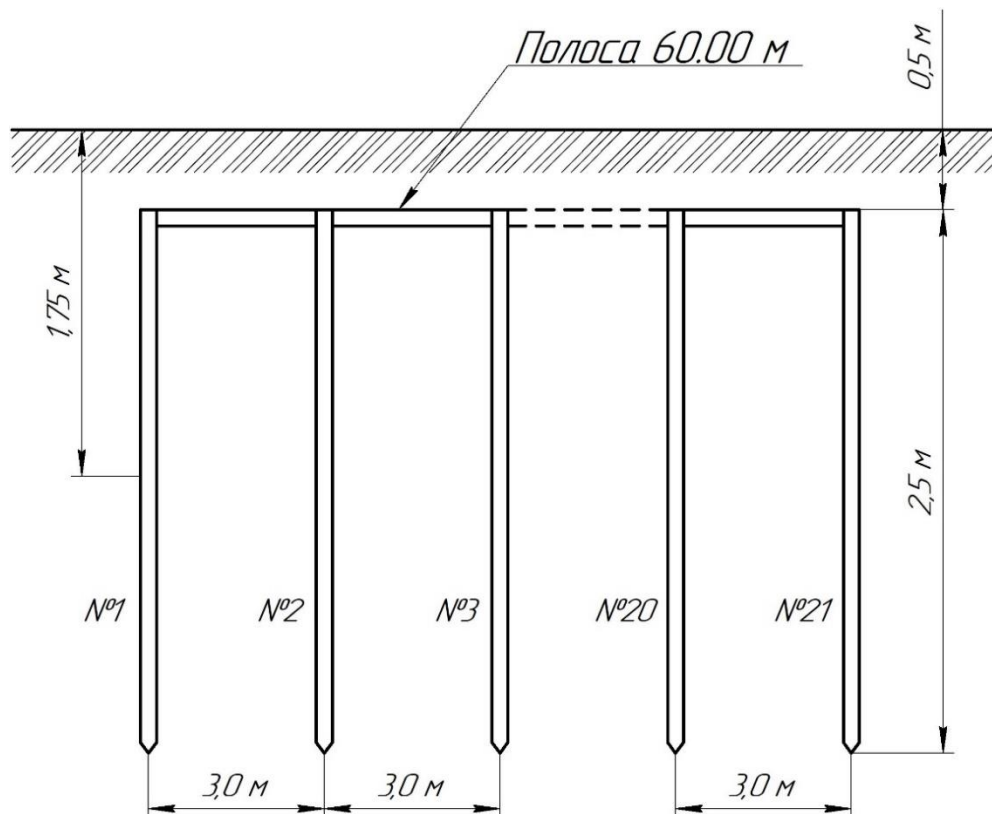


Рисунок 4.18 – Конструкція заземлювального пристрою.

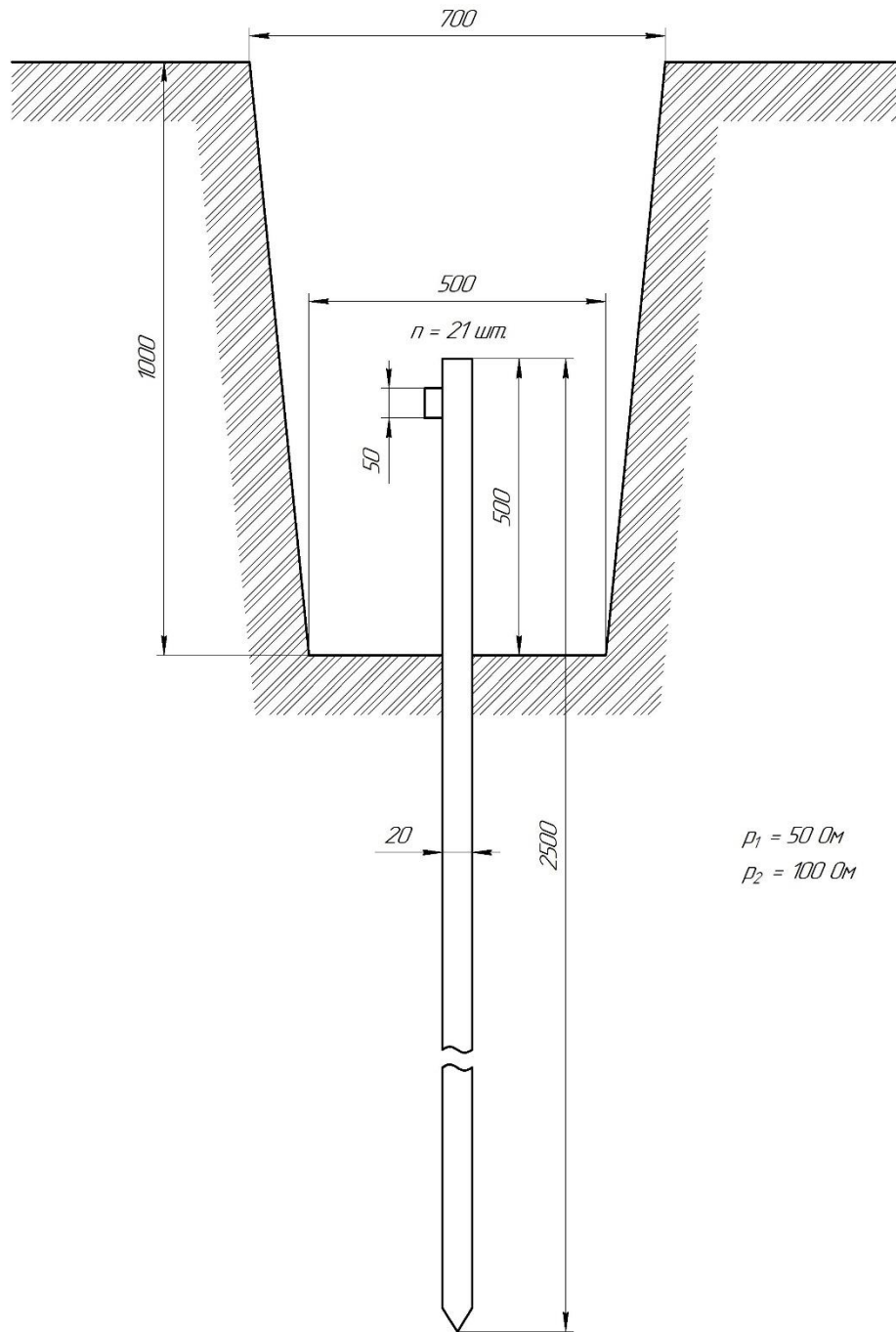


Рисунок 4.19 – Установка одиночного заземлювача в двошаровому гранті.

### 4.3.3 Рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою

1. Опір заземлюючого пристрою, згідно з вимогами ПУЕ-2017, у будь-який час року має бути не більше 4 Ом.
2. По закінченню монтажу зробити вимір дійсного опору розтіканню струму заземлюючого пристрою. При необхідності збільшити кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів.

3. Роботи по установці елементів заземлюючого пристрою виконати у відповідності з рисунком 4.18.
4. Вертикальний електрод - сталевий прут  $l = 2,5$  м,  $d = 20$  мм, кількість - 21 шт.
5. Горизонтальний електрод – сталева полоса  $l = 60$  м, шириною = 50 мм, кількість - 1 шт..
6. Перед забиванням в землю один кінець вертикального електрода зрізати під клин (кут 60 градусів).
7. Відстань між вертикальними електродами - 3 м.
8. Глибина залягання горизонтального заземлювача - 0,5 м нижче рівня землі.
9. Всі з'єднання елементів заземлюючого пристрою виконати зварюванням внахлест.
10. Всі місця зварювальних з'єднань покрити бітумною мастикою в два шари.



## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОГО ВИРОБУ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень [21].

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій.

Розшифровка суми витрат по статтям кошторису:

1. Зарплата розробників по етапам розраховується, виходячи з кількості технічної документації (схем, креслень, текстової документації), що розробляється, з використанням нормативів на розробку різних видів документації. Зарплата виконавців по кожному етапу є сумою добуток тривалості етапів в днях на денну ставку виконавця (по всім виконавцям).

Тривалість етапу визначається як добуток кількості листів розробленої документації на відповідну норму часу в нормо-годинах на розробку, поділене на число прийнятих розробників і середню тривалість робочого дня (8,0 годин) [22].

Денна ставка виконавця визначається відношенням місячного окладу до середнього числа робочих днів в місяці (22 дні).

Розрахунок зарплати розробників технічної документації на розробку виробу приведений в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок зарплати розробників технічної документації

№	Найменування етапів розробки	Одиниця	К-ть креслень	Норматив часу на одиницю,	Трудомісткість етапу, люд.-години	Число	Тривалість етапу, днів	Денна ставка виконавців	Зарплата на етап, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Схема електрична структурна	Схема ф.А1	1	8,00	8,00	1	1,00	560,00	560,00
2	Схема електрична принципова	Схема ф.А1	1	8,00	8,00	1	1,00	560,00	560,00
3	Перелік елементів	ф.А4	2	2,00	4,00	1	0,50	560,00	280,00
4	Креслення друкованої плати	ф.А1	1	4,00	4,00	1	0,50	560,00	280,00
5	Креслення алгоритму програми управління	ф.А1	1	8,00	8,00	1	1,00	560,00	560,00
6	Креслення заземлювального пристрою	ф.А1	1	4,00	4,00	1	0,50	560,00	280,00
7	Креслення економічних показників	ф.А1	1	2,00	2,00	1	0,25	560,00	140,00
8	Специфікація	ф.А4	1	2,00	2,00	1	0,25	560,00	140,00
9	Таблиці	ф.А4	10	1,00	10,00	1	1,25	560,00	700,00
10	Розрахунки	ф.А4	10	2,00	20,00	1	2,50	560,00	1400,00
11	Записка пояснення	ф.А4	70	2,00	140,00	1	17,5	560,00	9800,00
	Разом								14 700

Зарплата виконавців на коректування документації визначається з трудомісткості розробки відповідних документів: коректування складає 15–20% цієї трудомісткості.

2. Зарплата на виготовлення і випробування дослідного зразка по всім етапам визначається таким чином: дослідний зразок виготовляється і випробовується в лабораторії; тривалість цих робіт узяті з досвіду базового підприємства, а потім розраховані аналогічно розрахунку зарплати на розробку документації (табл. 5.1).

При визначенні зарплати на виготовлення дослідного зразка трудомісткість по видам робіт збільшена на 100% проти трудомісткості серійного виробу і розряди роботи підвищені на один з урахуванням ручних робіт в дослідному виробництві.

Таблиця 5.2 – Зарплата за виготовлення дослідного зразка

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	5	40	60,00	2 400,00
2	Монтажні	6	24	66,00	1 584,00
3	Регулювальні	6	16	72,60	1 161,60
	Разом				5 145,60

3. Матеріальні витрати на зразок складаються з вартості матеріалів (табл. 5.3) і комплектуючих виробів (табл. 5.4) на проєктований виріб. При цьому, виходячи з обліку втрат, вартість комплектуючих матеріалів збільшена на 30%.

Таблиця 5.3 – Вартість матеріалів

№	Найменування	Одиниця виміру	К-ть на виріб	Ціна за одиницю	Сума, грн
1	Склотекстоліт двосторонній	Лист 200x300мм	0,1	130,00	13,00
2	Плівковий фоторезист	Лист 1x0,3м	0,04	80,00	3,20
3	Розчин лугу	Пачка 700г	0,02	40,00	0,80
4	Розчин для травлення	шт.	1	20,00	20,00
5	Розчинник	л	0,05	80,00	4,00
6	Ізопропиловий спирт	л	0,03	180,00	5,40
	Разом				46,40

Таблиця 5.4 – Витрати на куповані комплектуючі вироби

№	Найменування	Кількість	Ціна одиниці	Сума, грн
1	УФ лампа	1	220,00	220,00
2	Фільтр 25 мкм	1	657,40	657,40
3	Компресор + ресивер	1	7 607,00	7 607,00
4	Фільтр 5 мкм	1	1 066,00	1 066,00
5	Рефрижераторний осушувач	1	32 300,00	32 300,00
6	Фільтр 1 мкм	1	5 320,00	5 320,00
7	Повітряний редуктор	1	460,00	460,00
8	Електромагнітний клапан	1	2 570,00	2 570,00
9	Датчик тиску	1	282,00	282,00
10	Датчик вологості та темп.	1	384,00	384,00
11	Дисплей LCD	1	285,00	285,00
12	Конденсатор	9	1,60	14,40
13	Мікросхема ATmega328PB	1	186,00	186,00
14	Мікросхема SN340C	1	31,00	31,00
15	Стабілізатор напруги	1	22,50	22,50
16	Резистор	13	0,50	6,50
17	Світлодіод	3	3,00	9,00
18	Діод	4	2,00	8,00
19	Транзистор	3	1,00	3,00
20	Роз'єм	10	6,00	60,00
21	Керамічний резонатор	1	8,50	8,50
22	Кнопка	1	1,60	1,60
23	Утримувач запобіжника	1	4,00	4,00
24	Запобіжник	1	0,80	0,80
	Разом			51 506,70

4. Накладні витрати беруться у розмірі 120...140% сумарної зарплати розробників з урахуванням виготовлення і випробування дослідного зразка і коректування документації за наслідками випробувань.

5. Собівартість дослідного зразка визначається за формою таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція собівартості дослідного зразка

№	Стаття витрат	Витрати на проектований виріб, грн.
1	2	3
1.	Матеріали (табл. 5.3)	46,40
2	Куповані комплектуючі вироби (табл. 5.4)	51 506,70
3	Транспортні витрати (5% п.1+п.2)	2 577,70
4	Заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.2)	5 145,60
5	Нарахування на зарплату (36,9%)	1 898,70
6	Накладні витрати(120% п.4)	6 174,70
	Разом собівартість	67 349,80

6. Інші витрати включають невраховані витрати, наприклад, витрати на відрядження, на виготовлення або придбання спеціальної апаратури, необхідної для випробування макетів або зразків та ін.

Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва складається за формою таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на конструкторську підготовку виробництва

№	Стаття витрат	Сума, грн
1	Зарплата розробників по всіх етапах розробки (табл. 5.1)	14 700,00
2	Зарплата на коректування технічної документації за наслідками випробувань дослідного зразка (20% п.1)	2 940,00
3	Разом ФЗП (п.1 +п.2)	17 640,00
4	Нарахування на зарплату (36,9% п.3)	6 985,40
5	Накладні витрати (120% п. 3)	21 168,00
6	Собівартість дослідного зразка (табл. 5.5)	67 349,80
7	Інші витрати	1 856,8
	Всього вартість розробки	115 000,00

## 7. Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції

Розрахунок вартості матеріалів.

Витрати на матеріали визначаються з норм витрати і їх вартості за прейскурантом цін (табл. 5.3), зменшені на 30%.

Розрахунок витрат на куповані комплектуючі вироби.

Витрати на куповані комплектуючі вироби визначаються на основі відомості купованих комплектуючих виробів і їх вартості (табл. 5.4), зменшені на 30%.

Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників.

Заробітна плата виробничих робітників визначається на підставі трудомісткості виготовлення виробу і відповідних тарифних ставок по видах робіт. При визначенні зарплати на виготовлення серійного виробу трудомісткість по видам робіт зменшується на 100% проти трудомісткості (табл. 5.2) і розряди роботи знижені на один.

Розрахунок приведений в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Зарплата робочих за виготовлення серійного виробу

№	Вид робіт	Середній розряд робіт	Трудомісткість нормо - год	Тарифна ставка, грн/год	Зарплата, грн
1	Складальні	4	20	60,00	1 200,00
2	Монтажні	5	12	66,00	792,00
3	Регулювальні	5	8	72,60	578,40
	Разом				2 570,40

Доплати і премії приймаються у розмірі 10–25% тарифної заробітної плати.

8. Розрахунок планованої собівартості одиниці продукції проводиться на основі калькуляційних статей, зведених в таблицю 5.8:

Таблиця 5.8 – Калькуляція собівартості і ціни одиниці виробу

№	Стаття витрат	Витрати на виріб, грн.
1	2	3
1	Матеріали	46,40
2	Куповані комплектуючі вироби	51 506,70
3	Транспортні витрати (5% (п.1+п.2))	2 577,70
4	Основна заробітна плата виробничих робочих (табл. 5.7)	2 570,40
5	Додаткова заробітна платня виробничих робочих (20% п.4)	514,10
6	Разом ФЗП (п.4+п.5)	3 084,50
7	Нарахування на зарплату (36,9% п.6)	1 138,20
8	Накладні витрати (140% п.4)	3 598,56
9	Разом собівартість (п.1+п.2+п.3+п.6+п.7)	58 353,50
10	Прибуток (30% собівартості)	17 506,10
11	Ціна виробника	75 859,60

## 9. Розрахунок критичного обсягу виробництва

Критичний обсяг виробництва визначається по наступній формулі:

$$V_{кр} = \frac{P_{ост} \cdot V}{C - C_{п}}, \quad (5.1)$$

де  $V_{кр}$  – критичний обсяг виробництва, шт.;

$V$  – планований обсяг виробництва,  $V=10$  шт.;

$P_{ост}$  – постійні витрати,  $P_{ост} = 58\,353,50$  грн.;

$C$  – ціна виробу,  $C = 75\,859,60$  грн.;

$C_{п}$  – середньозмінні витрати,  $C_{п} = 17\,506,10$  грн.

Види витрат і ціна виробу визначаються з калькуляції собівартості (табл. 5.8). До постійних витрат відносяться загальновиробничі витрати, загальногосподарські витрати і позавиробничі витрати. Останні статті відносяться до середньозмінних витрат.

Тоді критичний обсяг виробництва:

$$V_{кр} = \frac{58\,353,50 \cdot 10}{75\,859,60 - 17\,506,10} = \frac{583\,535}{58\,353,5} = 10 \text{ шт.}$$

Критичний обсяг виробництва виробу складає 10 шт.

#### 10. Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект від впровадження нових виробів розраховується по формулі [23]:

$$E_p = (\Pi - E_n \cdot K_y) \cdot A_p, \quad (5.2)$$

де  $\Pi$  – прибуток на одиницю продукції;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень  
( $E_n = 0,15$ );

$A_p$  – річний об'єм випуску продукції. Для серійного виробництва  
 $A_r = 10$  шт/рік;

$K_y$  – питомі капіталовкладення на одиницю річного об'єму продукції

$$K_y = K/A_p = 115\,000,00/10 = 11\,500,00 \text{ грн/шт}, \quad (5.3)$$

де  $K$  – капіталовкладення в розробку виробу = витрати на КПВ + вартість основних фондів = 115 000,00 грн.

Передбачуваний річний економічний ефект :

$$E_p = (17\,506,10 - 0,15 \times 11\,500,00) \times 10 = 157\,811,00 \text{ грн.}$$



Ефективність (Е) розробки дорівнює річному прибутку, що ділиться на капіталовкладення:

$$E = 157\,811,00 / 115\,000,00 = 1,37 \text{ грн/грн} \quad (5.4)$$

Термін окупності продукції (Т) рівний зворотній величині ефективності:

$$T = 1/E = 1/1,37 = 0,73 \text{ р.} \quad (5.5)$$

Таблиця 5.9 – Основні економічні показники

Найменування показника	Одиниці вим.	Величина показника
Вартість капітальних вкладень	грн.	115 000,00
Річний прибуток	грн.	157 811,00
Економічна ефективність	грн./грн.	1,37
Термін окупності	рік	0,73

Економічні розрахунки підтвердили доцільність виготовлення проєктованого виробу.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі було розроблено систему управління блоком підготовки повітря бортового озонатора.

У першому розділі розглянуто способи та технології підготовки повітря для технологічних процесів, проаналізовано ринок пристроїв, блоків підготовки повітря, повітряних фільтрів та осушувачів стисненого повітря. Розглянуто компресори, ресивери, датчики температури, тиску, вологості та силові ключі управління електротехнічними компонентами пристроїв підготовки повітря. Виконано аналіз проблем та постановка завдань.

У другому розділі розроблено систему управління блоком підготовки повітря бортового озонатора: розроблено структурну схему, вибрано необхідне обладнання та розроблено електричну принципову схему плати управління. Керуючим пристроєм вибрано мікроконтролер ATmega328PB. Частота роботи 16 МГц. Напруга живлення +5 В.

У третьому розділі розраховано потужність та енергоспоживання системи управління блоком підготовки повітря, розроблено алгоритм програми управління та написано програму роботи керуючого контролера у середовищі Arduino IDE. Струм споживання плати управління 152,87 мА.

У четвертому розділі виконано макетування друкованої плати управління блоком підготовки повітря у середовищі EasyEDA та розглянуто технологію виготовлення друкованих плат в домашніх умовах методом фоторезисту. Розглянуто техніку безпеки у складальному цеху, розраховано пристрій заземлення та вивчено рекомендації по монтажу заземлюючого пристрою.

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування проектного виробу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підготовка стисненого повітря: веб-сайт. URL: <https://u.to/-weeHw> (дата звернення: 14.05.2023)
2. Блоки підготовки повітря: веб-сайт. URL: <https://u.to/fAieHw> (дата звернення: 15.05.2023).
3. Повітряні фільтри стисненого повітря: веб-сайт. URL: <https://u.to/sgieHw> (дата звернення: 16.05.2023).
4. Фільтри-вологовідділювачі SPC (Китай): веб-сайт. URL: <https://u.to/3AieHw> (дата звернення: 17.05.2023).
5. Фільтри-осушувачі Samozzi (Італія): веб-сайт. URL: <https://u.to/AAmeHw> (дата звернення: 18.05.2023).
6. Фільтри стисненого повітря Remeza (Німеччина): веб-сайт. URL: <https://u.to/JgmeHw> (дата звернення: 19.05.2023).
7. Осушувачі стисненого повітря: веб-сайт. URL: <https://u.to/QgmeHw> (дата звернення: 20.05.2023).
8. Осушувачі повітря Remeza: веб-сайт. URL: <https://u.to/awmeHw> (дата звернення: 21.05.2023).
9. Осушувачі адсорбційного типу: веб-сайт. URL: <https://u.to/gQmeHw> (дата звернення: 22.05.2023).
10. Адсорбційні осушувачі серії DryXtreme NA: веб-сайт. URL: <https://u.to/kwmeHw> (дата звернення: 23.05.2023).
11. Мембранні осушувачі: веб-сайт. URL: <https://u.to/tAmeHw> (дата звернення: 24.05.2023).
12. Поршневі компресори: веб-сайт. URL: <https://u.to/agqeHw> (дата звернення: 25.05.2023).
13. Гвинтові компресори: веб-сайт. URL: <https://u.to/ewqeHw> (дата звернення: 26.05.2023).
14. Ресивери повітряні: веб-сайт. URL: <https://u.to/lAqeHw> (дата звернення: 27.05.2023).

15. Будова та види датчиків температури в кліматичних системах: веб-сайт. URL: <https://ds-electronics.com.ua/support/blog/termoregulatory/ustrojstvo-i-vidy-datchikov-temperature-v-klimaticheskikh-sistemah/> (дата звернення: 28.05.2023).

16. Типи датчиків тиску: веб-сайт. URL: <https://eleksun.com.ua/uk/blog/article/typy-datchyktiv-tysku> (дата звернення: 29.05.2023).

17. Датчики вологості все, що необхідно знати про прилади: веб-сайт. URL: <https://jak.koshachek.com/articles/datchiki-vologosti-vse-shho-neobhidno-znati-pro.html> (дата звернення: 30.05.2023).

18. Алексієвський Д. Г., Туришев К. О., Коротич Г. І. Концепція використання бортових озонаторів у каретах швидкої допомоги. Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електроніка та телекомунікації» Сєверодонецьк: НЦ СДПТ, 2020. С. 54-55.

19. Arduino Nano: веб-сайт. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Nano> (дата звернення: 01.06.2023).

20. Виготовлення друкованих плат своїми руками в домашніх умовах: веб-сайт. URL: [https://sw19.ru/post/262#trassirovka\\_pecchatnoy\\_platy](https://sw19.ru/post/262#trassirovka_pecchatnoy_platy) (дата звернення: 03.06.2023).

21. Стуколов П.М. Організація, планування та управління підприємствами електронної техніки. –М.:Висш.шк., -1986..

22. Стуколов П.М. Економіка електронної промисловості.-М.:Висш.шк., - 1983.

23. Пляскін І.І. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Організація та планування конструкторської підготовки виробництва нових виробів ".-Запоріжжя:ЗІІ, -1989.

Програмний код управління блоком підготовки повітря бортового озонатора. Середовище розробки Arduino IDE.

```
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Управління
#define PIN_WATER_DISCHARGE 3
#define PIN_DC_CONVERTER 8
#define PIN_VOLTAGE_INVERTER 9
#define TIMER_STEP 60000
#define TIME_AUTOMATIC_WATER_DISCHARGE 3000

// LCD дисплей
#define LCD_ADDRESS 0x27 // Адрес LCD дисплея
#define LCD_NUMBER_OF_CHARACTERS 20 // Кількість символів
#define LCD_NUMBER_OF_LINES 4 // Кількість рядків
#define PRESSURE_MIN_ATM 2
#define PRESSURE_MAX_ATM 9
#define ONE_MINUTE 60000

// Датчики
#define PIN_DHT 2
#define TYPE_DHT DHT22
#define PIN_PRESSURE_METER A3
#define PRESSURE_MIN 600
#define PRESSURE_MAX 850
```

```
// Кнопки
#define PIN_BTN_SB1 4 // Пін першої кнопки
#define PIN_BTN_SB2 5 // Пін другої кнопки
#define PIN_BTN_SB3 6 // Пін третьою кнопки
#define PIN_BTN_SB4 7 // Пін четвертою кнопки

const int arrSizeTimer = 7;

// Змінні
int water_reset_timer = 1800000;
int water_reset_timer_min = 60000;
int water_reset_timer_max = 7200000;
float h = 0;
float t = 0;
float pressure_meter = 0;
bool butflag1 = false;
bool butflag2 = false;
bool butflag3 = false;
bool butflag4 = false;
bool turn_on = false;
uint32_t timer_water = 0;
uint32_t btnTimer1 = 0;
uint32_t btnTimer2 = 0;
uint32_t btnTimer3 = 0;
uint32_t btnTimer4 = 0;
uint32_t arrTimer[arrSizeTimer] = {};

DHT dht(PIN_DHT, TYPE_DHT);
LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_ADDRESS, LCD_NUMBER_OF
_CHARACTER, LCD_NUMBER_OF_LINES);
```

```
// Оголошення функцій
void read_Button();
void main_control();
void show_LCD();

void setup() {
  dht.begin();
  lcd.init();          // Ініціалізуємо екран
  lcd.backlight();    // Включаємо підсвічування

  pinMode(PIN_BTN_SB1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_BTN_SB2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_BTN_SB3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(PIN_BTN_SB4, INPUT_PULLUP);

  pinMode(PIN_WATER_DISCHARGE, OUTPUT);
  pinMode(PIN_DC_CONVERTER, OUTPUT);
  pinMode(PIN_VOLTAGE_INVERTER, OUTPUT);
}

void loop() {
  read_Button();
  if (turn_on) {
    main_control();
    show_LCD();
  }
}

void read_Button() {
  bool btnState1 = !digitalRead(PIN_BTN_SB1);
```

```
if (btnState1 && !butflag1 && millis() - btnTimer1 > 100) {
    butflag1 = true;
    turn_on = !turn_on;
    btnTimer1 = millis();
}
if (!btnState1 && butflag1 && millis() - btnTimer1 > 100) {
    butflag1 = false;
    btnTimer1 = millis();
}
bool btnState2 = !digitalRead(PIN_BTN_SB2);
if (btnState2 && !butflag2 && millis() - btnTimer2 > 100) {
    butflag2 = true;
    btnTimer2 = millis();
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, HIGH);
}
if (!btnState2 && butflag2 && millis() - btnTimer2 > 100) {
    butflag2 = false;
    btnTimer2 = millis();
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, LOW);
}
bool btnState3 = !digitalRead(PIN_BTN_SB3);
if (btnState3 && !butflag3 && millis() - btnTimer3 > 100) {
    butflag3 = true;
    btnTimer3 = millis();
    water_reset_timer -= TIMER_STEP;
}
if (!btnState3 && butflag3 && millis() - btnTimer3 > 100) {
    butflag3 = false;
    btnTimer3 = millis();
}
```



```

bool btnState4 = !digitalRead(PIN_BTN_SB4);
if (btnState4 && !butflag4 && millis() - btnTimer4 > 100) {
    butflag4 = true;
    btnTimer4 = millis();
    water_reset_timer += TIMER_STEP;
}
if (!btnState4 && butflag4 && millis() - btnTimer4 > 100) {
    butflag4 = false;
    btnTimer4 = millis();
}
}

void main_control() {
    if (millis() - arrTimer[0] >= 2000) { // Таймер на 2000 мс (0.5 раз на сек)
        arrTimer[0] = millis();           // Скидання таймера
        h = dht.readHumidity();           // Вимірюємо вологість
        t = dht.readTemperature();       // Вимірюємо температуру
    }
    if (millis() - arrTimer[1] >= 100) {
        arrTimer[1] = millis();
        pressure_meter = (float)analogRead(PIN_PRESSURE_METER);
// Вимірюємо тиск
    }
    if (millis() - arrTimer[2] >= 1000 && pressure_meter < PRESSURE_MIN)
    {
        arrTimer[2] = millis();
        digitalWrite(PIN_DC_CONVERTER, HIGH);
        digitalWrite(PIN_VOLTAGE_INVERTER, LOW);
    }
}

```

```

if (millis() - arrTimer[3] >= 200 && pressure_meter >= PRESSURE_MAX)
{
    arrTimer[3] = millis();
    digitalWrite(PIN_DC_CONVERTER, LOW);
}
if (millis() - arrTimer[4] >= 1000 && pressure_meter > PRESSURE_MIN)
{
    arrTimer[4] = millis();
    digitalWrite(PIN_VOLTAGE_INVERTER, HIGH);
}
if (millis() - arrTimer[5] >= water_reset_timer) {
    arrTimer[5] = millis();
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, HIGH);
    timer_water = millis();
}
if (millis() - timer_water >= TIME_AUTOMATIC_WATER
_DISCHARGE) {
    digitalWrite(PIN_WATER_DISCHARGE, LOW);
}
if (water_reset_timer > water_reset_timer_max) {
    water_reset_timer = water_reset_timer_min;
}
if (water_reset_timer < water_reset_timer_min) {
    water_reset_timer = water_reset_timer_max;
}
}

void show_LCD() {
    if (millis() - arrTimer[6] >= 1000) { // Таймер на 1000 мс (1 раз на сек)
        arrTimer[6] = millis();           // Скидання таймера
    }
}

```

```
lcd.setCursor(0, 0);      // Встановлюємо курсор у колонку 0, рядок 0
lcd.print("Humidity ");
lcd.print(h);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temperature ");
lcd.print(t);
lcd.write(223);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Pressure ");
lcd.print(map(pressure_meter, PRESSURE_MIN, PRESSURE_MAX,
PRESSURE_MIN_ATM, PRESSURE_MAX_ATM));
lcd.print("atm");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Water reset timer ");
lcd.print(water_reset_timer/ONE_MINUTE);
lcd.print("min");
}
}
```

Перв. застосув.		Зона	Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
		<i>Конденсатори</i>					
			C1	1206-10mkF-10%-16V-X7R Murata	1		
			C2	1206-10mkF-10%-25V-X7R Samsung	1		
			C3	1206-100nF-10%-50V-X7R Samsung	1		
			C4	100mkF-20%-16V-105*С JBC	1		
Довід. №			C5	1206-10mkF-10%-25V-X7R Samsung	1		
			C6	1206-100nF-10%-50V-X7R Samsung	1		
			C7	1206-330nF-10%-50V-X7R Murata	1		
			C8	1206-10mkF-10%-16V-X7R Murata	1		
			C9	1206-100nF-10%-50V-X7R Samsung	1		
		<i>Мікросхеми</i>					
			DA1	CH340C S016 WCH	1		
			DA2	L7805ACD2T-TR 5V 1A D2Pak STM	1		
			DD1	ATMEGA328PB-AU TQFP-32 Atmel	1		
Підп. і дата			FU1	Утримувач запобіжника FH-101C KLS	1		
				Запобіжник 5x20 мм 1A 220V KLS	1		
		<i>Резистори</i>					
Інв. № дубл.			R1..R5	1206-1K0-100%-200V UniOhm	5		
			R6	1206-10K-100%-200V UniOhm	1		
			R7..R10	1206-1K0-100%-200V UniOhm	4		
Взам. інв. №			R11..R13	1206-560R-100%-200V UniOhm	3		
			SW1	Кнопка тактова KFC-003A 6x3 h=2,5mm CJ	1		
Підп. і дата							
Інв. № подл.		<b>ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.ПЕЗ</b>					
		Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Аркциш
		Розроб.	Шляховський	<i>Шляховський</i>	15.06		1
		Перевір.	Алексієвський	<i>Алексієвський</i>	15.06		2
	Н.контр.	Туришев			ІННІ ім Ю.М. Потєдні ЗНУ 6.1710-с		
	Затверд.	Критська					
Система управління блоком підготовки повітря дортового озонатора Плата управління Перелік елементів							

Зона	Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		<i>Діоди</i>		
	VD1	1N5819WS 40V 1A SOD323 JCET	1	
	VD2	STPS2L60A 60V 2A SMA STM	1	
	VD3	SMAJ20A 20V 1 Bm SMA STM	1	
	VD4	FYLS-1206UGC FORYARD	1	
	VD5	FYLS-1206UBC FORYARD	1	
	VD6	FYLS-1206URC FORYARD	1	
	VD7	MBR0540 40V 0.5A SOD-123 ON Semi	1	
	VT1..VT3	Транзистор SS8050 40V 1.5A SOT23 Yangjie Technology	3	
		<i>Роз'єми</i>		
	XP1	15EDGRC-3.5-03P-14-00AH Degson	1	
	XP2	15EDGRC-3.5-02P-14-00AH Degson	1	
	XP3	15EDGRC-3.5-08P-14-00AH Degson	1	
	XP4	Гніздо Mini USB B 5pin SMT KLS	1	
	XP5..XP8	15EDGRC-3.5-02P-14-00AH Degson	4	
	XP9	PLD-06 2.54 мм KLS	1	
	XP10	15EDGRC-3.5-04P-14-00AH Degson	1	
	ZQ1	Керамічний резонатор 16.000MHz CSTCE16MOV53-RO YXC	1	

Підп. і дата	
Інв. № докл.	
Взам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<b>ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.ПЕЗ</b>	Арк. 2
-----	------	----------	-------	------	--	-----------

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	При- мітка
<b>Документація</b>						
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Е1	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Схема електрична структурна		
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Е3	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Схема електрична принципова		
A4			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.ПЕ3	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Перелік елементів		
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.01	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Друкована плата		
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Д1	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Алгоритм програми управління		
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Д2	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Заземлювальний пристрій		
A1			ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00.Д3	Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора Економічні показники		
			<b>ЕІСПЗ ДП.360-20.00.00.00.00</b>			
			Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
			Розроб.	Шляховський		15.06
			Перевір.	Алексієвський		15.06
			Н.контр.	Туришев		
			Затверд.	Критська		
			<b>Система управління блоком підготовки повітря бартового озонатора</b>			Літ.
						Аркцш
						Аркцшів
						1
						ІННІ ім Ю.М. Потєдні ЗНУ 6.1710-с