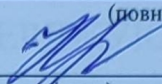


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»  
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва циклової комісії)

Допустити до захисту

Голова випускової циклової комісії  
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)

  
(підпис) Ірина КРАВЧУК  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« 10 » 06 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
ФАХОВИЙ МОЛОДШИЙ БАКАЛАВР**

Тема: Функціональні можливості електронного годинника на базі  
PIC16F877A

Група: 3-013

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач освіти

  
(підпис)

Олександр КУЛУШ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

  
(підпис)

Владислав СОБЧУК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант з оформлення  
пояснювальної записки

  
(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Кривий Ріг 2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії  
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж  
Освітній ступінь фаховий молодший бакалавр  
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії  
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)

Ірина КРАВЧУК

(підпис)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« 01 » 03 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Куліушу Олександр Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Функціональні можливості електронного годинника на базі PIC16F877A

Керівник роботи Собчук Владислав Олегович  
викладач

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

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 50-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з 01.03.2025 по 15.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Електронний багатофункціональний годинник на основі мікроконтролеру PIC16F877A.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Теоретичні основи розробки. Розробка електронного астрономічного годинника. Техніко-економічне обґрунтування розробки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Презентація Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Узгодження технічного завдання</i>	<i>01.03.2025</i>	
2	<i>Огляд літератури по темі кваліфікаційної роботи</i>	<i>15.03.2025</i>	
3	<i>Теоретичні основи розробки</i>	<i>28.04.2025</i>	
4	<i>Розробка електронного астрономічного годинника</i>	<i>14.05.2025</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки</i>	<i>26.05.2025</i>	
6	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>06.06.2025</i>	
7	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>		

Здобувач освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

*Олександр КУЛІУШ*

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

*Владислав СОБЧУК*

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

## Звіт подібності

## метадані

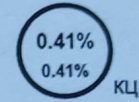
Назва організації  
Ukrainian national aviation university  
Заголовок  
Куліш О\_3-013\_2025\_КПІ  
Автор Науковий керівник / Експерт  
КулішГринченко О  
підрозділ  
Криворізький Фаховий коледж

## Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25  
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2



6564  
Кількість слів

50301  
Кількість символів

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Функціональні можливості електронного годинника на базі *PIC16F877A*» викладена на 56 с., містить 16 рис., 13 табл. 15 використаних літературних джерел.

### *ЕЛЕКТРОННИЙ ГОДИННИК, МІКРОКОНТРОЛЕР, PIC16F877A, АПАРАТНІ ЗАСОБИ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК*

Метою кваліфікаційної роботи є створення електронного годинника, який не матиме стандартних недоліків, притаманних побутовим електронним годинникам. Це передбачає розробку пристрою, що забезпечує підвищену точність, надійність та розширений функціонал порівняно з існуючими аналогами.

Об'єктом досліджень є система електронного годинника, розроблена на базі мікроконтролера *PIC16F877A*.

У першому розділі роботи розглядаються теоретичні основи розробки пристрою. Детально вивчаються принципи роботи електронних годинників, особливості архітектури та функціональні можливості мікроконтролера *PIC16F877A*. Описуються основні етапи розробки, включаючи проектування, макетування та тестування, а також розробка та відлагодження як апаратних, так і програмних засобів, необхідних для коректної роботи пристрою.

Другий розділ присвячений практичній розробці проектованого пристрою. На цьому етапі розробляються структурна та функціональні схеми електронного годинника, детальний алгоритм управління та програмне забезпечення мікроконтролера. Проводиться ретельний розрахунок та обґрунтований вибір елементної бази, а також побудова електричної схеми пристрою.

Третій розділ містить економічні розрахунки вартості проектованого пристрою. Також у цьому розділі проводиться порівняльна характеристика розробленого годинника з аналогічними пристроями за ключовими економічними та технічними параметрами, що дозволяє оцінити конкурентоспроможність та переваги запропонованого рішення.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ.....	9
1.1 Розробка мікропроцесорних систем на базі мікроконтролерів.....	9
1.1.1 Основні етапи розвитку.....	9
1.1.2 Розробка та налагодження апаратного забезпечення.....	11
1.1.3 Розробка та налагодження програмного забезпечення.....	12
1.2 Астрономічний годинник: Точність, Історія та Еволюція.....	13
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО АСТРОНОМІЧНОГО ГОДИННИКА..	18
2.1 Постановка завдання.....	18
2.2 Блок-схема та функціональні специфікації.....	18
2.3 Огляд мікроконтролерів <i>PIC</i> та їх ключові характеристики.....	20
2.4 Мікроконтролер <i>PIC16F877A</i> : Детальний огляд.....	23
2.5 Проектування функціональної схеми пристрою.....	28
2.6 Розроблення алгоритмів керування.....	29
2.7 Створення програмного забезпечення для мікроконтролера.....	30
2.8 Вибір, опис і обґрунтування використаних бібліотек елементів.....	31
2.9 Розроблення електричних схем пристрою.....	35
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	36
3.1 Розрахунок вартості розробки програмного забезпечення для мікроконтролера.....	36
3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення.....	38
3.3 Розрахунок витрат на створення конструкторської документації та складання обладнання.....	44
3.4 Облік витрат на етапі виробництва продукції.....	49
3.5 Розрахунок собівартості та ціноутворення.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	55

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

ВЗП – Вентильний затворний пристрій (якщо використовується)

ЖКД – Рідкокристалічний дисплей

I/O – Введення/Виведення (*Input/Output*)

КМОН – Комплементарний метал-оксид-напівпровідник (технологія)

МК – Мікроконтролер

ОЗП – Оперативний запам'ятовуючий пристрій

ПЗП – Постійний запам'ятовуючий пристрій

ПМЗ – Пристрій мікроконтролерної затримки (якщо використовується)

РС – Персональний комп'ютер

Таймер – Вбудований лічильник часу у мікроконтролері

ЦАП – Цифро-аналоговий перетворювач

ШІМ – Широтно-імпульсна модуляція

*EEPROM* – *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (Електрично стираюча програмована постійна пам'ять)

*GPIO* – *General Purpose Input/Output* (Універсальні порти введення/виведення)

*PC* – *Inter-Integrated Circuit* (Послідовний інтерфейс зв'язку)

*LCD* – *Liquid Crystal Display* (Рідкокристалічний дисплей)

*PIC16F877A* – Конкретна модель 8-розрядного мікроконтролера родини *PIC* від *Microchip Technology*

*PWM* – *Pulse Width Modulation* (Широтно-імпульсна модуляція)

*RAM* – *Random Access Memory* (Оперативна пам'ять)

*ROM* – *Read Only Memory* (Постійна пам'ять)

*RTC* – *Real-Time Clock* (Годинник реального часу)

*SPI* – *Serial Peripheral Interface* (Послідовний периферійний інтерфейс)

## ВСТУП

У розробці більшості сучасних вимірювальних систем ключовим завданням є перетворення аналогових сигналів від різних датчиків у цифрову форму та їх подальша обробка. Хоча раніше вся обробка часто покладалася на зовнішні комп'ютери, сьогодні ринок вимагає високоефективних рішень. Саме тому дедалі популярнішими стають системи з вбудованими мікроконтролерами.

Мікроконтролери значно спрощують процес, беручи на себе левову частку завдань з оцифрування та обробки даних. Це не лише підвищує ефективність, але й, завдяки масштабному виробництву, суттєво знижує вартість кінцевого пристрою. В результаті ми отримуємо готовий, економічно ефективний продукт, що успішно вирішує поставлені завдання.

Мікроконтролер: "мозок" пристрою

Однокристальний мікроконтролер — це компактний пристрій, виконаний у вигляді інтегральної схеми (ІС), що містить:

- Мікропроцесор: виконує обчислення та керує роботою.
- Пам'ять програм: зберігає інструкції для мікроконтролера.
- Пам'ять даних: тимчасово зберігає дані для обробки.
- Програмовану схему інтерфейсу: забезпечує зв'язок із зовнішніми пристроями.

Класифікація та застосування мікроконтролерів

Мікроконтролери виробляються по всьому світу в величезних кількостях. Залежно від сфери застосування, їх можна поділити на дві основні категорії:

- Спеціалізовані: розроблені для конкретних галузей або пристроїв (наприклад, контролери для телевізорів або модемів).
- Універсальні: не мають вузької спеціалізації і можуть бути використані в найрізноманітніших сферах мікроелектроніки для створення як існуючих, так і абсолютно нових пристроїв.

Високоточні годинники: виклики та рішення

Астрономічні годинники, хоча й виконують ті ж функції, що й звичайні, потребують надзвичайної точності. Для її досягнення вони оснащуються дорогими, високотехнологічними компонентами, що відрізняє їх від звичайних годинників.

Однією з ключових проблем при їх розробці є компенсація температурних впливів. Звичайні механічні годинники (кишенькові, настінні) прискорюються при зниженні температури і відстають при її підвищенні.

В електронних годинниках для підвищення точності застосовуються два основні підходи:

1. Стабільне джерело живлення: забезпечує постійну подачу енергії.
2. Термостат для кварцового резонатора: підтримує стабільну температуру для ключового елемента, що задає частоту.

Актуальність та мета дослідження

Ця кваліфікаційна робота присвячена темі "Високоточний годинник на основі одного чіпа", що підкреслює її основний фокус.

Актуальність цієї теми очевидна, адже протягом усього нашого життя прагнення "йти в ногу з часом" є невід'ємною частиною людського буття.

Метою даної роботи є розробка надзвичайно точного електронного годинника на базі мікроконтролера з розширеним функціоналом. В якості основи для розробки астрономічного годинника було обрано сімейство мікроконтролерів *PIC16F877A*.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ

#### 1.1 Розробка мікропроцесорних систем на базі мікроконтролерів

##### 1.1.1 Основні етапи розвитку

Мікропроцесорні системи (МПС), що базуються на мікроконтролерах (МК), є основою для вбудованих систем, які ефективно керують різноманітними об'єктами. Ключовою особливістю цих систем є їхня здатність працювати в реальному часі, що дозволяє миттєво реагувати на зовнішні події в заданих часових рамках. Саме цю функцію і виконує контролер.

Розробники таких систем стикаються з повним циклом проєктування – від розробки алгоритмів до комплексного тестування готового продукту. Процес створення контролера включає кілька важливих етапів, як показано на рис. 1.1.

Початковим етапом є визначення технічних вимог, які чітко окреслюють функції, що має виконувати контролер. Ці вимоги формуються на основі побажань користувача і можуть бути представлені у вигляді текстового опису.

Далі розробляються функціональні специфікації, які деталізують, як саме контролер виконуватиме ці функції. Вони включають опис форматів вхідних/вихідних даних та зовнішніх умов, що впливають на роботу пристрою. Це дозволяє переконатися, що розроблене обладнання повністю відповідає поставленим завданням.

Найбільш відповідальним етапом є розробка алгоритму керування. Помилки на цьому етапі можуть призвести до значних фінансових та часових втрат, оскільки їх виявлення на стадії тестування готового продукту вимагає дорогої переробки. При розробці алгоритму зазвичай вибирається оптимальний баланс між програмними та апаратними рішеннями. Важливо пам'ятати: чим більше функцій реалізовано апаратно, тим простішою є розробка та вищою загальна продуктивність контролера, хоча це може збільшити його вартість та енергоспоживання.

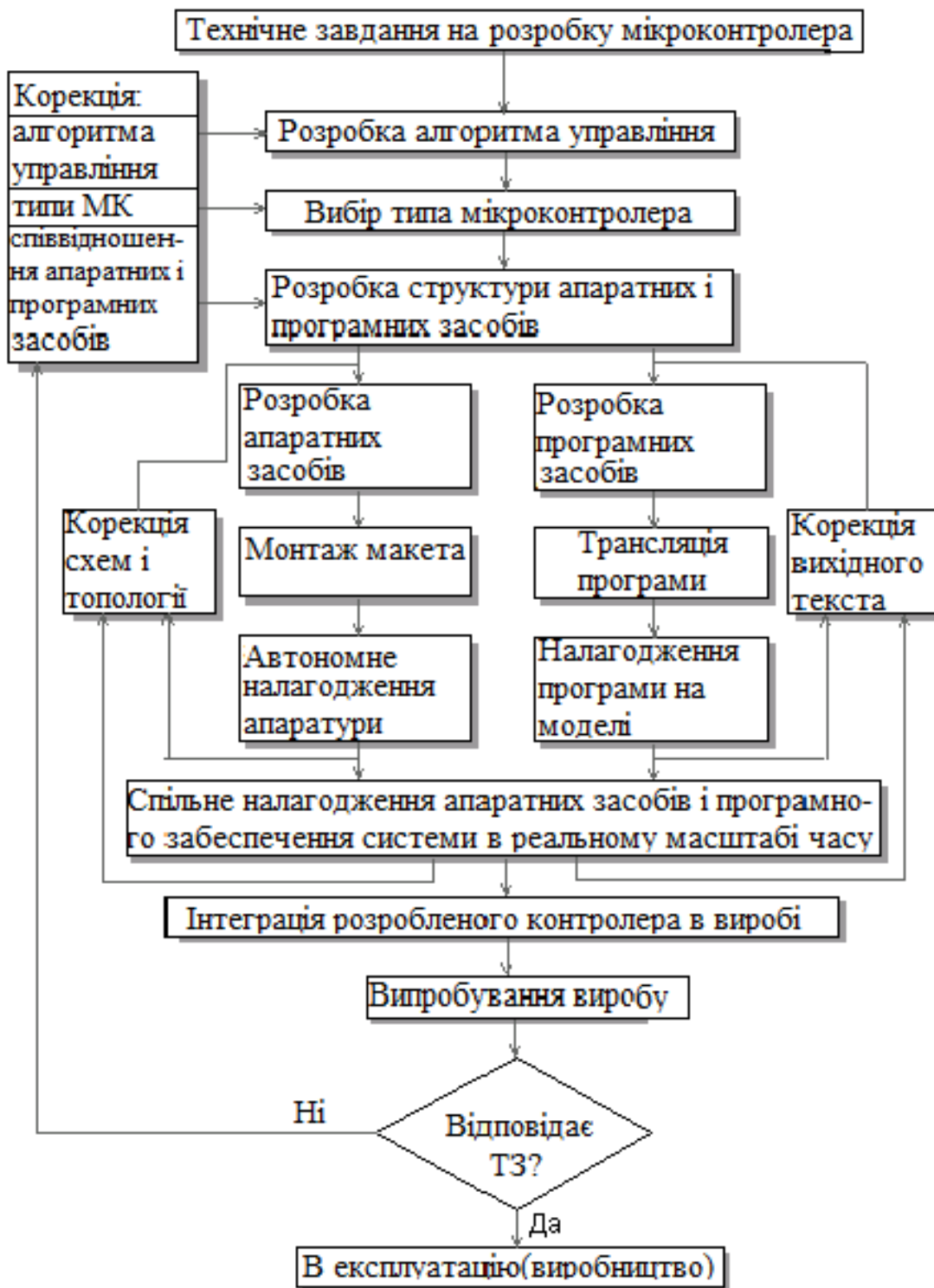


Рисунок 1.1 - Основні етапи розробки контролера

При виборі типу мікроконтролера необхідно враховувати низку ключових характеристик:

- Розрядність
- Швидкість роботи

- Набір команд та методи адресації
- Вимоги до живлення та енергоспоживання в різних режимах
- Об'єм пам'яті програм (ПЗП) та оперативної пам'яті даних (ОЗП)
- Можливість розширення пам'яті
- Наявність та функціонал периферійних пристроїв, включаючи підтримку режиму реального часу
- Можливість внутрішнього перепрограмування
- Наявність та надійність вбудованих механізмів захисту інформації
- Здатність підтримувати різні архітектурні рішення
- Вартість різних версій
- Повнота та доступність документації
- Наявність та доступність ефективних інструментів програмування та налагодження
- Кількість та надійність каналів постачання, а також можливість заміни продукцією інших виробників.

Цей перелік не є вичерпним, проте він охоплює більшість критично важливих аспектів.

Сьогодні ринок пропонує тисячі типів контролерів від різних виробників. Сучасні модульні підходи до проектування дозволяють створювати цілі сімейства МК з одним і тим же процесорним ядром. Таке різноманіття архітектур дає розробникам можливість вибрати найбільш підходящий мікроконтролер, уникаючи надлишкового функціоналу та мінімізуючи вартість компонентів.

### **1.1.2 Розробка та налагодження апаратного забезпечення**

Після того, як ви визначилися з архітектурою системи та програмним забезпеченням, роботу над контролером можна вести паралельно. Розробка апаратної частини включає створення принципових схем, проектування топології друкованої плати, її монтаж та незалежне налагодження. На етапах впровадження схем та розробки топології плати зазвичай використовуються потужні системи автоматизованого проектування (CAD), такі як "ACCEL EDA" або "OrCad". Ці

інструменти допомагають автоматизувати та оптимізувати процес проектування електронних пристроїв.

### 1.1.3 Розробка та налагодження програмного забезпечення

Підтримка різних етапів розробки, компіляції та налагодження програмного забезпечення значною мірою залежить від обраних системних інструментів. Сучасні 8-бітні мікроконтролери мають достатньо ресурсів для підтримки програмування мовами високого рівня, такими як *C* або *Pascal*. Це дозволяє розробникам скористатися перевагами структурного програмування та створювати програмне забезпечення з використанням окремо скомпільованих модулів, що значно спрощує розробку та супровід коду.

Водночас, мови низького рівня, зокрема асемблер, продовжують активно використовуватися, особливо коли критично важливо забезпечити точні часові інтервали виконання операцій. Завдання попередньої обробки даних часто вимагають виконання складних обчислень, таких як операції з плаваючою комою та трансцендентні функції.

Наразі найефективнішим засобом розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів є інтегровані середовища розробки (*IDE*). Ці комплексні інструменти зазвичай включають:

- Менеджер проєктів: для організації файлів та ресурсів.
- Текстовий редактор: для написання коду.
- Симулятор: для віртуального тестування коду без фізичного обладнання.
- Можливість підключення до компіляторів мов високого рівня (*Pascal*, *C*).

Однак, важливо зазначити, що архітектура багатьох 8-бітних мікроконтролерів може створювати певні виклики для компіляторів. Через обмежену кількість регістрів, сторінкову організацію пам'яті, незручну індексовану адресацію та інші архітектурні обмеження, компіляторам іноді складно генерувати максимально ефективний код. Це може призвести до більшого обсягу коду або повільнішої його роботи, що вимагає від розробників ретельнішого планування та оптимізації.

## 1.2 Астрономічний годинник: Точність, Історія та Еволюція

На перший погляд, астрономічний годинник виконує ті ж функції, що й звичайний. Однак, його головна відмінність — це надзвичайна точність, яка досягається завдяки використанню дорогих, високопрецизійних механізмів, яких немає у типових годинниках.

Одна з ключових проблем, з якою стикалися розробники годинників, — це компенсація температурних коливань. Звичайні механічні годинники (кишенькові чи настінні) прискорюються при низьких температурах і сповільнюються при високих. У маятникових годинниках для цього використовували компенсуючий маятник, а в годинниках з волосковою пружиною чи хронографах — спеціальні чаппементи.

### Історичні Астрономічні Годинники: Шедеври Інженерії та Астрономії

Іноді термін "астрономічний годинник" відноситься до складних інструментів, які не тільки показували час доби, а й за допомогою спеціальних механізмів відтворювали рух планет та Місяця, фази припливів і відпливів, дати рухомих свят, різні астрономічні явища (особливо сонячні та місячні затемнення), високосні роки тощо. Створення таких годинників вимагало не лише виняткових механічних навичок, а й глибоких астрономічних знань.

Серед найвеличніших прикладів таких годинників можна виділити створений Дасіподієм для Страсбурзького собору в XV столітті. Його пізніше відтворив майстер Швіргер, і ці годинники у оновленому вигляді досі є окрасою собору. Інший, дещо простіший, знаходиться в Майнці.

Мабуть, найвідомішим і найгарнішим зразком астрономічного годинника є Празький Орлой (див. рис. 1.2).

Незважаючи на свою вражаючу складність та красу, такі прилади мали обмежене практичне застосування. Їхнє створення вимагало колосальних зусиль, які не завжди були виправдані, оскільки астрономам було значно зручніше відстежувати небесні явища за допомогою календарів.



Рисунок 1.2 - Астрономічного годинник Празький Орлой

### Еволюція Точного Часу: Від Маятника до Електроніки

Астрономічний годинник Федченка (АГ, рис. 1.3) є вершиною еволюції маятникових годинників. Це високоточний електромеханічний пристрій з неймовірною похибкою — всього 0,0002-0,0003 секунди на добу. Це на порядок точніше, ніж годинники, виготовлені британським вченим В. Шортсом у 1920-х роках. АГ Федченка широко використовувалися в обсерваторіях по всьому світу з XIX століття. Така точність була досягнута завдяки особливому трипружинному підвісу маятника (винахід Ф. М. Федченка), який дозволяв маятнику коливатися ізохронно (незалежно від амплітуди). Годинники Федченка продовжували працювати в 1970-х і 1980-х роках, виконуючи функції хронометристів в обсерваторіях, на космодромах, в аеропортах і телецентрах.

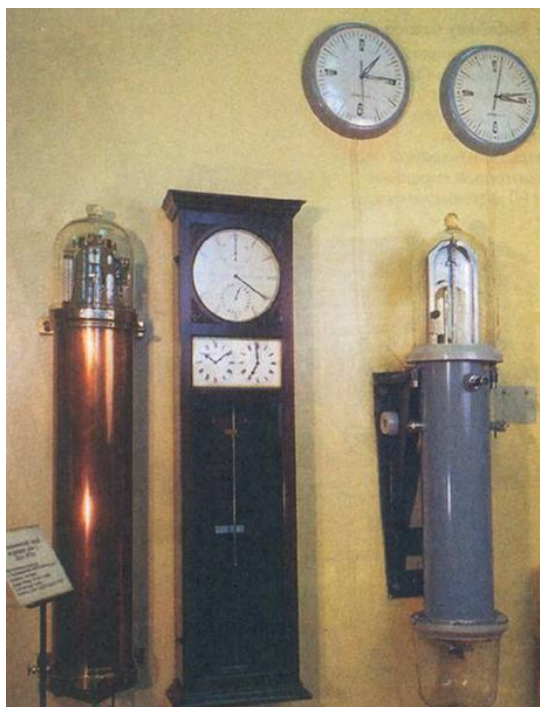


Рисунок 1.3 – Астрономічний годинник Федченка

До появи перших повністю електронних годинників на початку 1970-х років, інженери активно вдосконалювали електромеханічні конструкції в пошуках максимальної точності. Уже в 1960-х роках якірний механізм у класичних годинниках почали замінювати на більш стабільне електромеханічне джерело опорних коливань. Основу таких систем складав камертон, резонансні коливання якого підтримувалися транзисторним *RC*-генератором. Передача енергії від камертона до зубчастого механізму здійснювалась через храпову передачу. Камертонні годинники першого покоління забезпечували значно кращу точність порівняно з механічними – до  $\pm 5$  секунд на добу.

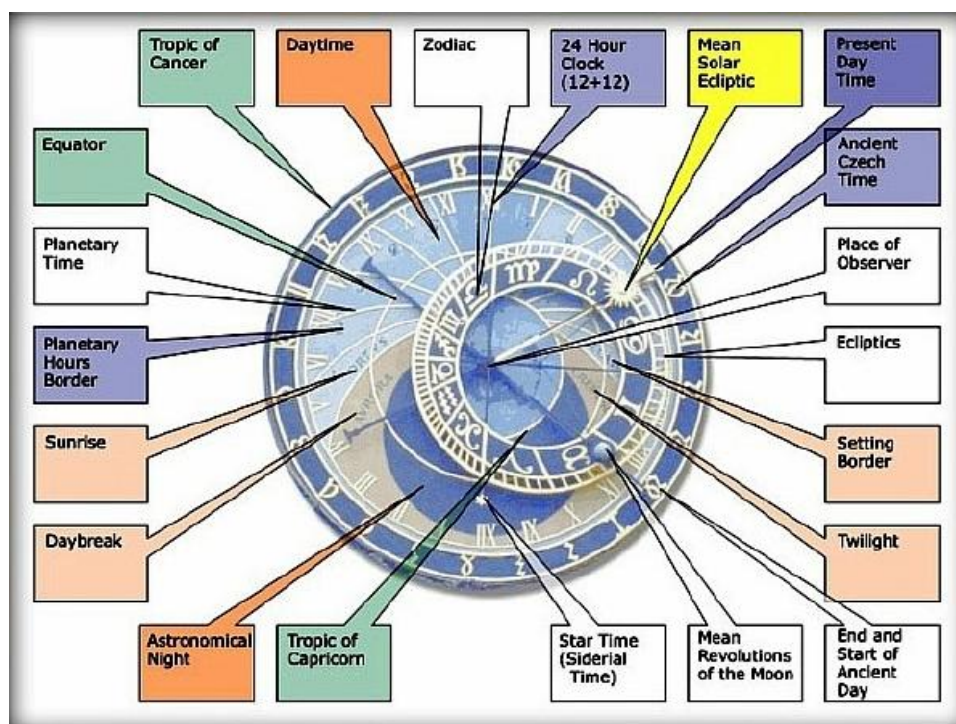


Рисунок 1.4 – Найстаріший годинник у світі

Зі стрімким розвитком мікроелектроніки стало можливим удосконалити електронну частину годинникових механізмів завдяки впровадженню малопотужних мікросхем. Конструкції стали більш гнучкими: джерелом стабільних коливань стали кварцові резонатори, які працювали на частотах у десятки кілогерц. Камертон при цьому часто використовувався як виконавчий елемент, який приводив у дію стрілку. Для зниження частоти кварцового генератора до потрібної (наприклад, 1 або 2 Гц) застосовувалися мікросхемидільники. Такі конструкції забезпечували точність до  $\pm 0,5$  секунди на добу. Проте поширення цих годинників було обмеженим через зношення їхніх механічних компонентів.

У подальшому з'явилися моделі годинників з електромеханічним мікрокроковим або маятниковим двигуном, який керувався електричними імпульсами низької частоти (1–2 Гц).

Сучасна елементна база електронних годинників включає інтегральні мікросхеми, мініатюрні кварцові резонатори, рідкокристалічні або світлодіодні

індикатори тощо. Саме мікросхеми відіграють ключову роль у формуванні функціональних можливостей та точності годинника.

Попри спроби створити високоточні астрономічні годинники на базі мікроконтролерів, широкого розповсюдження вони не набули — передусім через високу собівартість та наявність функцій, які виявилися зайвими для щоденного використання.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО АСТРОНОМІЧНОГО ГОДИННИКА

#### 2.1 Постановка завдання

Мета цього проєкту — розробити схему багатофункціонального астрономічного годинника. Пристрій має відповідати наступним ключовим вимогам:

- Простота схеми: мінімальна кількість компонентів для спрощення виробництва та зниження вартості.
- Багатий функціонал: широкий набір функцій та різноманітні параметри для налаштування.
- Стійкість та довговічність: здатність витримувати перепади напруги та температури, забезпечуючи тривалий термін служби.
- Відсутність нагрівальних елементів: для зменшення енергоспоживання та спрощення конструкції.
- Низьке енергоспоживання: для ефективної та тривалої роботи, особливо в автономних режимах.

#### 2.2 Блок-схема та функціональні специфікації

Розглянемо архітектуру розроблюваного пристрою, яка представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Схема конструкції багатofункціонального астрономічного годинника

Функціональні характеристики пристрою:

1. Вхідні дані:

- 16 кнопок: для керування та налаштування годинника.
- Безперебійне, стабільне живлення: забезпечення постійної та надійної подачі енергії для коректної роботи.

2. Вихідні дані:

- Дворядковий 16-символьний РК-дисплей: для відображення інформації.
- Звуковий передавач: для звукових сповіщень або сигналів.

3. Функціонал:

- 16 таймерів: для різноманітних завдань відліку часу.
- Розширені можливості відображення часу: Годинник може відображати:
  - Земний час.

- Час на Марсі.
- Час на Юпітері.
- Зоряний час.
- Фази Місяця.
- Час руху Великої червоної плями Юпітера.
- Іншу астрономічну інформацію.
- Відображення часу у 24-годинному та юліанському (десятковому) форматах.
- Функція сигналізації: можливість встановлення будильників.
- Вбудований блок живлення: для забезпечення безперебійної стабільності тактової частоти, що є критично важливим для точності.

### 2.3 Огляд мікроконтролерів *PIC* та їх ключові характеристики

Мікроконтролери серії *PIC* (*Peripheral Interface Controller*), розроблені компанією *Microchip*, є прикладом сучасних рішень у сфері вбудованих систем. Ці пристрої вирізняються наявністю електрично програмованої пам'яті (*EEPROM* або *Flash*) для зберігання користувацьких програм, низьким енергоспоживанням, високою швидкістю, повноцінною архітектурою *RISC*, широким функціоналом і компактним виконанням. Завдяки великому вибору моделей, контролери *PIC* застосовуються у багатьох сферах електроніки.

Перші представники лінійки — *PIC16C5x* — з'явилися наприкінці 1980-х років. Завдяки високій продуктивності та доступній ціні вони швидко набули популярності, витіснивши конкурентні *CISC*-мікроконтролери на ринку 8-бітних пристроїв.

#### Архітектурні особливості *PIC*-контролерів

Контролери *PIC* побудовані на основі двошинної Гарвардської архітектури, яка забезпечує фізичне розділення шин інструкцій і даних. Це дозволяє одночасно зчитувати команди та обробляти дані, значно підвищуючи швидкість виконання

програм. Усі ресурси пристрою — порти введення/виведення, пам'ять, таймери — реалізовані у вигляді апаратних реєстрів.

Ядро контролера засноване на архітектурі *RISC* і має симетричний набір команд. Це означає, що більшість команд можуть працювати з будь-якими реєстрами і підтримують гнучкі методи адресації. Результати обчислень можна зберігати як у спеціальному реєстрі-акумуляторі, так і в інших реєстрах.

#### Основні серії 8-бітних мікроконтролерів *Microchip*

На сьогодні *Microchip* пропонує п'ять основних серій мікроконтролерів з 8-бітною *RISC*-архітектурою, повністю сумісних між собою за командним набором:

- *PIC12CXXX* — компактні контролери в 8-вивідних корпусах, з 12- або 14-бітними командами. Оснащені вбудованим тактовим генератором, таймерами, сторожовим таймером та схемою обробки переривань. У деяких моделях присутній 4-канальний 8-бітний АЦП. Працюють при живленні від 2,5 В.

- *PIC16C5X* — базова серія з 12-бітною командною системою (33 команди), доступна у корпусах з 18 до 28 виводів. Характеризується простотою та мінімальним набором периферії. Підходить для енергоощадних мобільних застосувань. Підмножина *PIC16HV5XX* підтримує живлення від джерел до 15 В.

- *PIC16CXXX* — середній клас із 14-бітними інструкціями (35 команд). Включає широку периферію: компаратори, АЦП, *SPI*, *USART*, *I2C*, таймери, модулі захоплення/порівняння, ШІМ, сторожові таймери тощо.

- *PIC17CXXX* — високопродуктивна серія з 16-бітною системою команд (58 інструкцій) і тактовою частотою до 33 МГц. Містить 16-рівневий стек, векторну систему переривань, апаратний помножувач  $8 \times 8$ , який виконує операцію множення за один цикл.

- *PIC18CXXX* — серія з розширеною 16-бітною командною системою (75 команд) та частотою до 40 МГц. Оснащена 10-бітним АЦП, 31-рівневим апаратним стеком, великим обсягом пам'яті програм і даних. Оптимізована для використання з мовами високого рівня, зокрема С.

## Особливості застосування мікроконтролерів *PIC*

Більшість моделей постачаються з *OTP*-пам'яттю або маскованим ПЗП для масового виробництва. Для розробки використовуються версії з *Flash* або *EPROM*, що підтримують багаторазове перепрограмування. Лінійка *PIC* налічує близько 500 моделей, що дозволяє підібрати рішення для більшості задач на базі 8-бітних контролерів.

Для створення програмного забезпечення застосовуються асемблери та середовище *MPLAB IDE*. Для програмування і налагодження використовують як фірмові рішення, так і сторонні програматори (наприклад, *PICPROG*, *UNIPRO*, *STERX*).

Найбільш популярними залишаються серії *PIC16CXXX* і *PIC17CXXX*.

Технічні особливості серій *PIC16* та *PIC17*

Контролери серій *PIC16* та *PIC17* призначені насамперед для інтерфейсних задач, що відображено в самій назві *PIC*. Їхня архітектура має такі риси:

- *RISC*-набір команд — включає від 33 до 58 одноадресних команд фіксованої довжини (12–16 біт), які здебільшого виконуються за один такт. Відсутність складних арифметичних інструкцій компенсується високою швидкістю.
- Швидкодія — при частоті 20 МГц тривалість машинного циклу становить лише 200 нс, що дозволяє виконувати до 5 млн операцій за секунду.
- Потужні порти *I/O* — можуть видавати струм до 25 мА, що дозволяє керувати активними навантаженнями (наприклад, світлодіодами) без зовнішніх драйверів.
- Низьке енергоспоживання — особливо корисне для автономних пристроїв.
- Оптимізація під економічні рішення — використання простих корпусів з малою кількістю виводів, відсутність зовнішніх шин адреси/даних (за винятком *PIC17C4X*), мінімалістична система переривань та апаратний стек.

Особливості серії *PIC16CXXX*

Контролери серії *PIC16CXXX* виготовляються за технологією *HC MOS*, мають 8-бітне *RISC*-ядро та Гарвардську архітектуру. ПЗП для інструкцій — від 0,5 до 4

Кселів (12–14 біт командне слово). ОЗП організовано як регістрові файли обсягом 32–128 байт, з яких частина зарезервована для обміну даними й керування.

Перевагою є широкий діапазон робочої напруги (2–6 В) і низьке енергоспоживання:

- <15 мкА при 32,768 кГц;
- 1–2 мА при 4 МГц;
- 5–7 мА при 20 МГц;
- 1–2 мкА у режимі сну (*SLEEP*).

Контролери випускаються у трьох температурних класах: 0...+70 °С, –40...+85 °С та –40...+125 °С.

Кількість цифрових *I/O* ліній — від 12 до 33, з можливістю індивідуального налаштування кожної з них.

Деякі моделі, наприклад, *PIC16C64*, оснащені широтно-імпульсним модулятором (ШІМ), що дозволяє реалізувати цифрово-аналогове перетворення з роздільною здатністю до 16 біт. Інші, як *PIC16C71* та *PIC16C74*, мають вбудовані 8-бітні багатоканальні АЦП з функцією вибірки та збереження.

Окрім пам'яті програм, мікроконтролери містять ф'юзи — програмовані біти конфігурації, які дозволяють обирати тип тактового генератора, увімкнути або вимкнути сторожовий таймер, активацію системи при запуску, а також захист коду від читання.

## 2.4 Мікроконтролер *PIC16F877A*: Детальний Огляд

*PIC16F877A* — це потужний 8-розрядний *CMOS* мікроконтролер з вбудованою *Flash*-пам'яттю, що робить його універсальним рішенням для широкого спектра завдань.

### Ключові Характеристики

- Високопродуктивний *RISC*-процесор:
  - Більшість команд виконуються за один тактовий цикл (200 нс); лише команди переходу потребують двох циклів.

- Мінімальний час циклу: 200 нс.
- 14-розрядні інструкції.
- 8-розрядні дані.
- Гнучке управління:
  - Підтримка зовнішніх переривань.
  - 8-рівневий апаратний стек.
  - Пряма, непряма та відносна адресація даних та інструкцій.

#### Периферійні Можливості

*PIC16F877A* оснащений широким набором периферійних пристроїв:

- 22 лінії вводу/виводу (*I/O*) з можливістю індивідуального налаштування напрямку (вхід/вихід).
- Високострумові порти *I/O*:
  - Максимальний вхідний струм: 25 мА.
  - Максимальний вихідний струм: 25 мА.
- Таймери:
  - *Timer0*: 8-розрядний таймер/лічильник.
  - *Timer1*: 16-розрядний таймер/лічильник.
  - *Timer2*: 8-розрядний таймер/лічильник.
- 2 ШІМ-модулі (*PWM*): для генерації імпульсно-широотно-модульованих сигналів.
- Послідовні інтерфейси:
  - 3-провідний *SPI* (*Serial Peripheral Interface*).
  - *I2C* (*Inter-Integrated Circuit*) у режимах "майстер" та "підлеглий".
  - *USART* (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) з підтримкою адресації.
- 5-канальний 10-розрядний АЦП (аналогово-цифровий перетворювач).
- 2 аналогові компаратори.
- Вбудоване програмоване джерело опорної напруги.

#### Функції Мікроконтролера

*PIC16F877A* має інтегровані функції для підвищення надійності та зручності:

- Скидання при включенні (*POR*): автоматичне скидання при подачі живлення.
- Таймер включення живлення (*PWRT*) та таймер запуску генератора (*OST*): забезпечують стабільний запуск.
- Скидання після відключення живлення (*BOR*).
- Сторожовий таймер (*WDT*): з вбудованим *RC*-генератором для підвищення надійності роботи.
- Режим енергозбереження (*SLEEP*).
- Вибір джерела тактового сигналу.
- Вбудоване програмування через послідовний порт (*ICSP*) з використанням лише двох виводів.
- Налагодження на платі через послідовний порт (*ICD*) з використанням лише двох виводів.
- Можливість самопрограмування.
- Програмований захист коду від несанкціонованого читання.

#### Стійкість та Довговічність Пам'яті

- *Flash*-пам'ять програм: до 1000 циклів запису/стирання.
- *EEPROM*-пам'ять даних: до 100 000 циклів запису/стирання.
- Термін зберігання даних *EEPROM*: понад 40 років.

#### Технологія *CMOS*

- Економічна та високошвидкісна *CMOS*-технологія.
- Повністю статична конструкція.
- Широкий діапазон робочої напруги живлення: від 2.0 В до 5.5 В.
- Відмінний температурний діапазон.
- Низьке енергоспоживання.
- Повна сумісність за виводами (*pin-compatible*) з іншими 28-вивідними мікроконтролерами серій *PIC16CXXX* та *PIC16FXXX*.



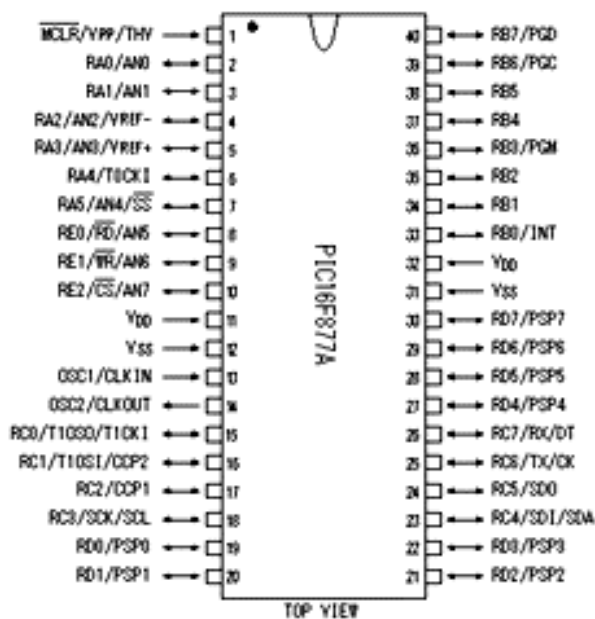


Рисунок 2.3 - Розташування виводів мікроконтролера *PIC16F877A*



Рисунок 2.4 - Загальний вигляд мікроконтролера *PIC16F877A*

Технічні параметри мікроконтролера *PIC16F877A* подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики однокристалльної мікросхеми *PIC16F877A*

Основні параметри	Характеристика <i>PIC16F877A</i>
Ядро	<i>PIC16</i>
Частота (Ф), МГц	0 до 20
Пам'ять <i>Flash</i> , КБ	8
Пам'ять ОЗП ( <i>RAM</i> ), КБ	0.365

Продовження таблиці 2.1

Пам'ять <i>EEPROM</i> , кБ	0.25
Кількість <i>I/O</i> (макс.), шт.	33
Таймер 8-бітний, шт.	2
Таймер 16-бітний, шт.	1
ШІМ-канали, шт.	2
Інтерфейс <i>UART</i> , шт.	1
Інтерфейс <i>SPI</i> , шт.	1
Інтерфейс <i>I2C</i> , шт.	1
АЦП (біти)	10
Канали АЦП, шт.	8
Аналогові компаратори, шт.	2
Діапазон напруги живлення, В	2 до 5.5
Макс. вихідний струм <i>I/O</i> , мА	25
Типи корпусів	<i>PLCC-44, PDIP-40, TQFP-44, SSOP-44</i>

## 2.5 Проектування функціональної схеми пристрою

Після визначення типу мікроконтролера наступним етапом є створення функціональної схеми пристрою, що наведена на рисунку 2.5.

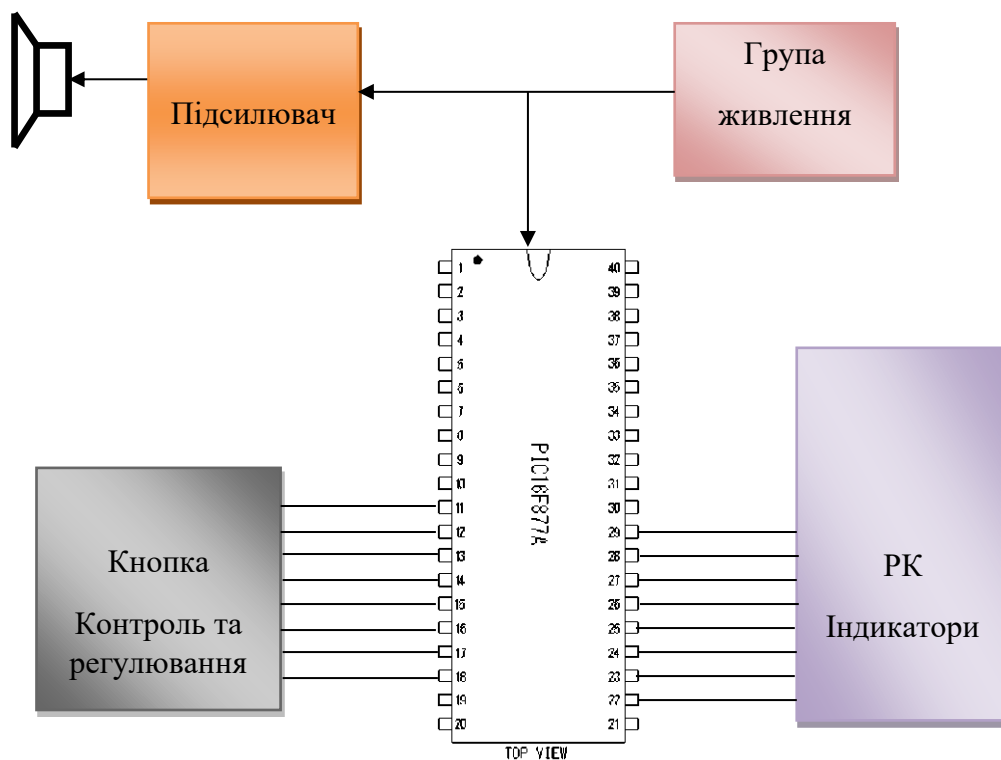


Рисунок 2.5 – Функціональна схема багатofункціонального високоточного годинника

## 2.6 Розроблення алгоритмів керування

Структуру основного алгоритму роботи мікроконтролера зображено на рисунку 2.6.

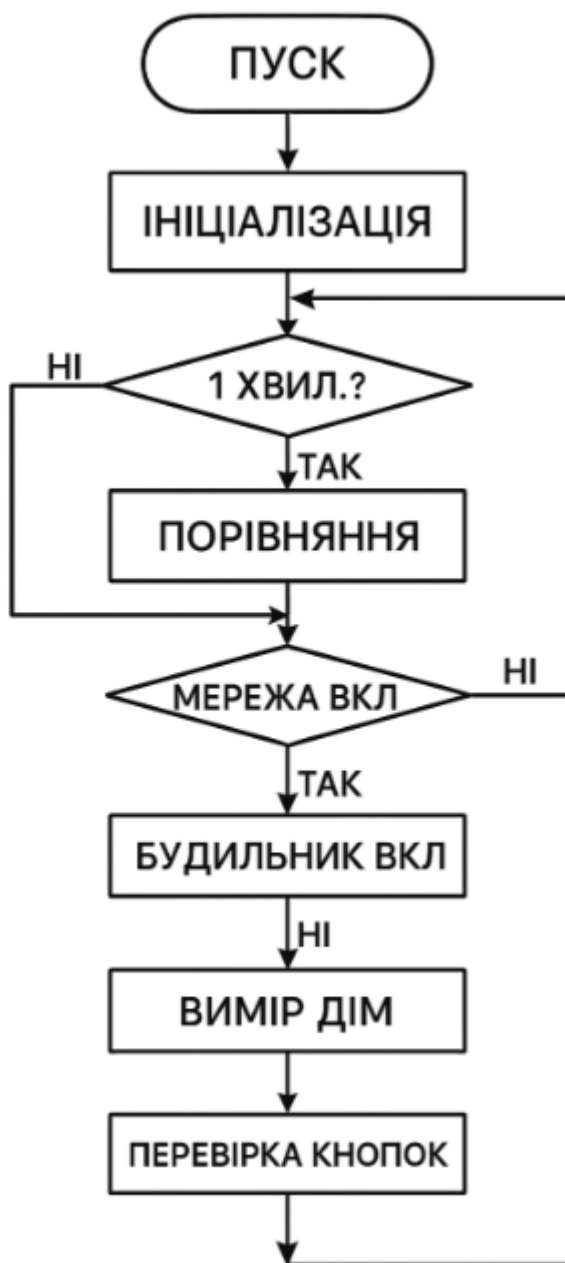


Рисунок 2.6 – Алгоритм функціонування багатofункціонального астрономічного годинника

## 2.7 Створення програмного забезпечення для мікроконтролера

Програмне забезпечення для мікроконтролера розробляється з використанням мови асемблера. Цей підхід дозволяє створювати гнучкі рішення, навіть якщо це призводить до збільшення розміру коду. Створена програма є функціональною та виконує основні задачі. У подальшому вона може бути вдосконалена, оновлена для виправлення помилок або розширена новими функціями.

## 2.8 Вибір, опис і обґрунтування використаних бібліотек елементів

Для стабілізації живлення пристрою використовується джерело напруги 5 В, яке складається з регулятора напруги та фільтруючих конденсаторів, що забезпечують зниження пульсацій.

Модуль звукового супроводу реалізовано на мікросхемі *LM386*, яка виконує функцію аудіопідсилувача. До цього модуля можуть підключатися прості динаміки, наприклад, від старих модемів, а регулювання рівня звуку здійснюється змінним резистором.

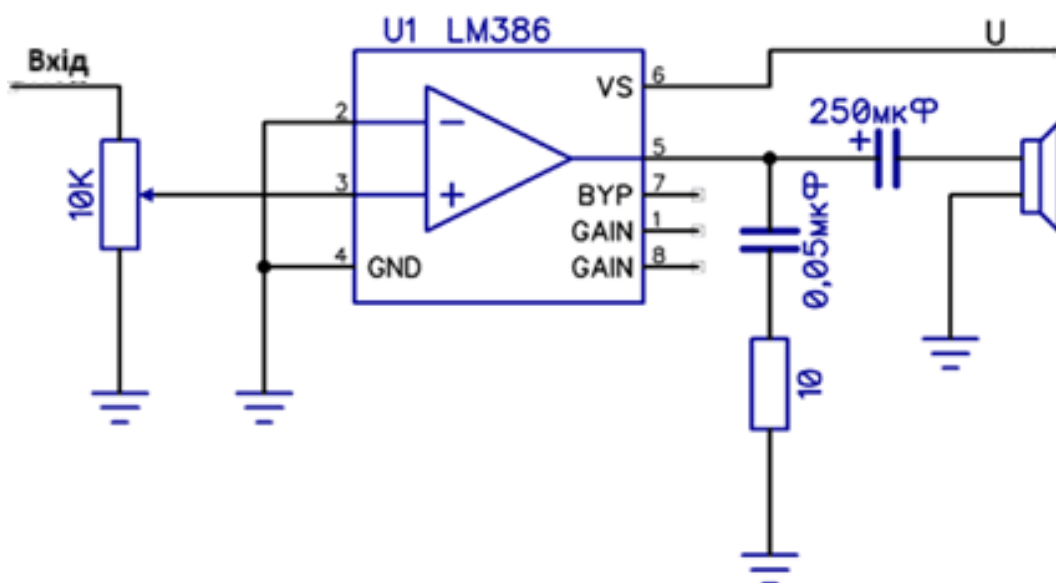


Рисунок 2.7 – Схема підсилувача на основі мікросхеми *LM386*

До складу підсилувача входять такі елементи:

- Мікросхема *LM386* – 1 шт.;
- Змінний резистор 10 кОм – 1 шт.;
- Постійний резистор 10 Ом – 1 шт.;
- Конденсатор 0,05 мкФ – 1 шт.;
- Електролітичний конденсатор 250 мкФ – 1 шт.

Для можливості оновлення прошивки мікроконтролера без вимикання системи передбачено програматорний порт (інтерфейс *DB25–6pin*).

Клавіатурний блок виконує функції введення та може бути використаний як цифрова клавіатура для налаштування або як елемент інтерфейсу, подібний до телефонного.

Індикація часу та меню реалізована за допомогою РК-дисплея формату 16x2 (дві стрічки по 16 символів), сумісного з модулем *Techstar*. Такі дисплеї є стандартними, тому можуть бути легко замінені аналогами.

Схема не містить компонентів, які потребують індивідуального розрахунку споживаного струму (крім стабілізатора), що спрощує процес вибору елементної бази.

Інтерфейс керування годинником представлено РК-дисплеєм 2x16. Верхній рядок постійно відображає активний таймер, тоді як нижній — юліанську дату або активне меню.



Рисунок 2.8 – Вигляд інформації на дисплеї

Система включає 16 таймерів з назвами від *TmA* до *TmP*. Зокрема, *TmA* — це таймер реального часу, а нижній рядок дисплея відображає юліанський час.

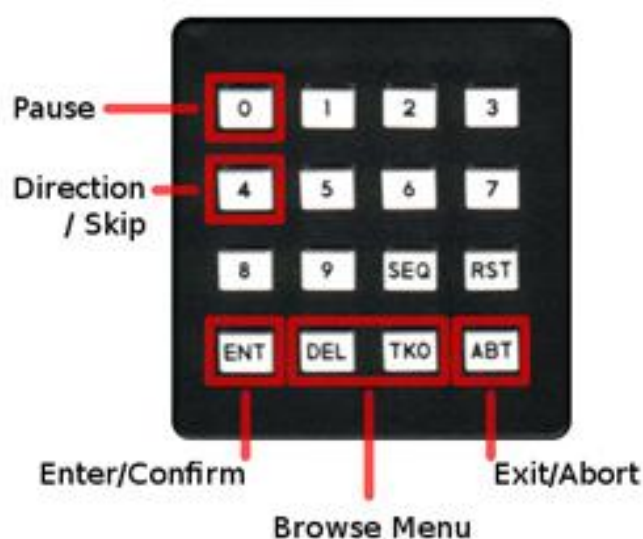


Рисунок 2.9 – Клавіатура, пов'язана з астрономічним годинником

Меню організоване за принципом багаторівневої навігації. Клавіші [DEL] та [TKO] дозволяють переходити між пунктами, [ENT] — підтвердження вибору, [ABT] — повернення до попереднього рівня.

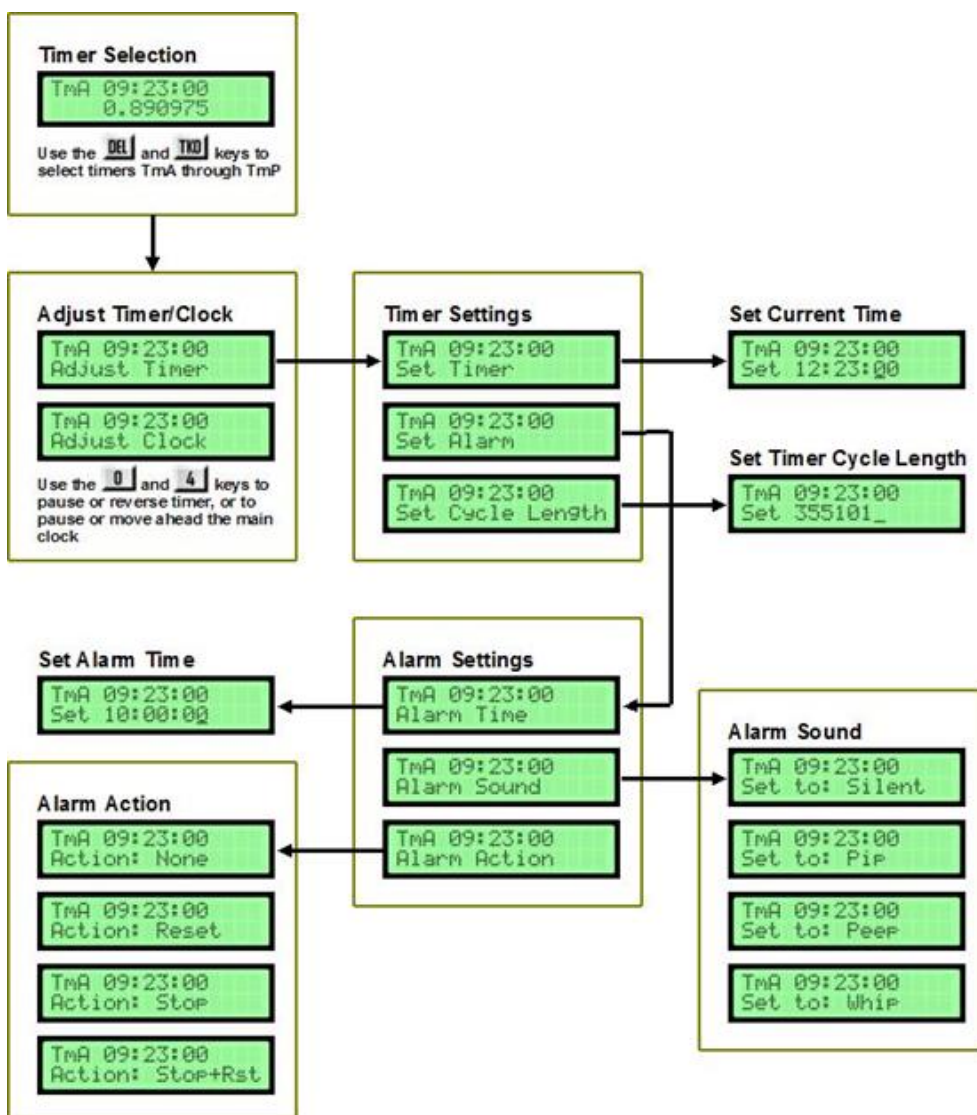


Рисунок 2.10 – Головне меню: Вибір таймера

Після запуску пристрою автоматично відкривається меню "Вибір таймера". Для редагування параметрів таймера потрібно обрати відповідний і натиснути [ENT].



Рисунок 2.11 – Меню з двома варіантами: налаштування таймера та годинника

– Опція "Налаштувати таймер" дає змогу призупиняти/відновлювати таймер і змінювати напрям його відліку.

– Опція "Налаштувати годинник" дозволяє встановити глобальний час для всіх таймерів.

Для детальнішого налаштування необхідно двічі натиснути [ENT]: спочатку для входу в меню, потім для вибору режиму.

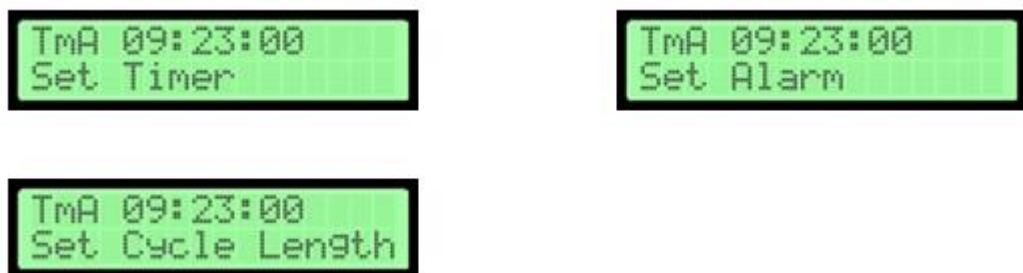


Рисунок 2.12 – Меню параметрів таймера

Можна встановити:

- час (у форматі ГГ:ХХ:СС),
- час спрацювання будильника,
- звуковий сигнал та дію при спрацюванні,
- тривалість циклу таймера, включаючи нестандартні формати (наприклад, марсіанський добовий цикл).

Кожен таймер має власний будильник, який конфігурується окремо. Для підтвердження вибору використовується клавіша [ENT], для скасування — [ABT].

## 2.9 Розроблення електричних схем пристрою

На рисунку 2.13 представлено принципову електричну схему багатофункціонального астрономічного годинника, яка включає всі основні вузли: мікроконтролер, блок живлення, модулі індикації, клавіатуру, звуковий підсилювач та інтерфейс програмування.

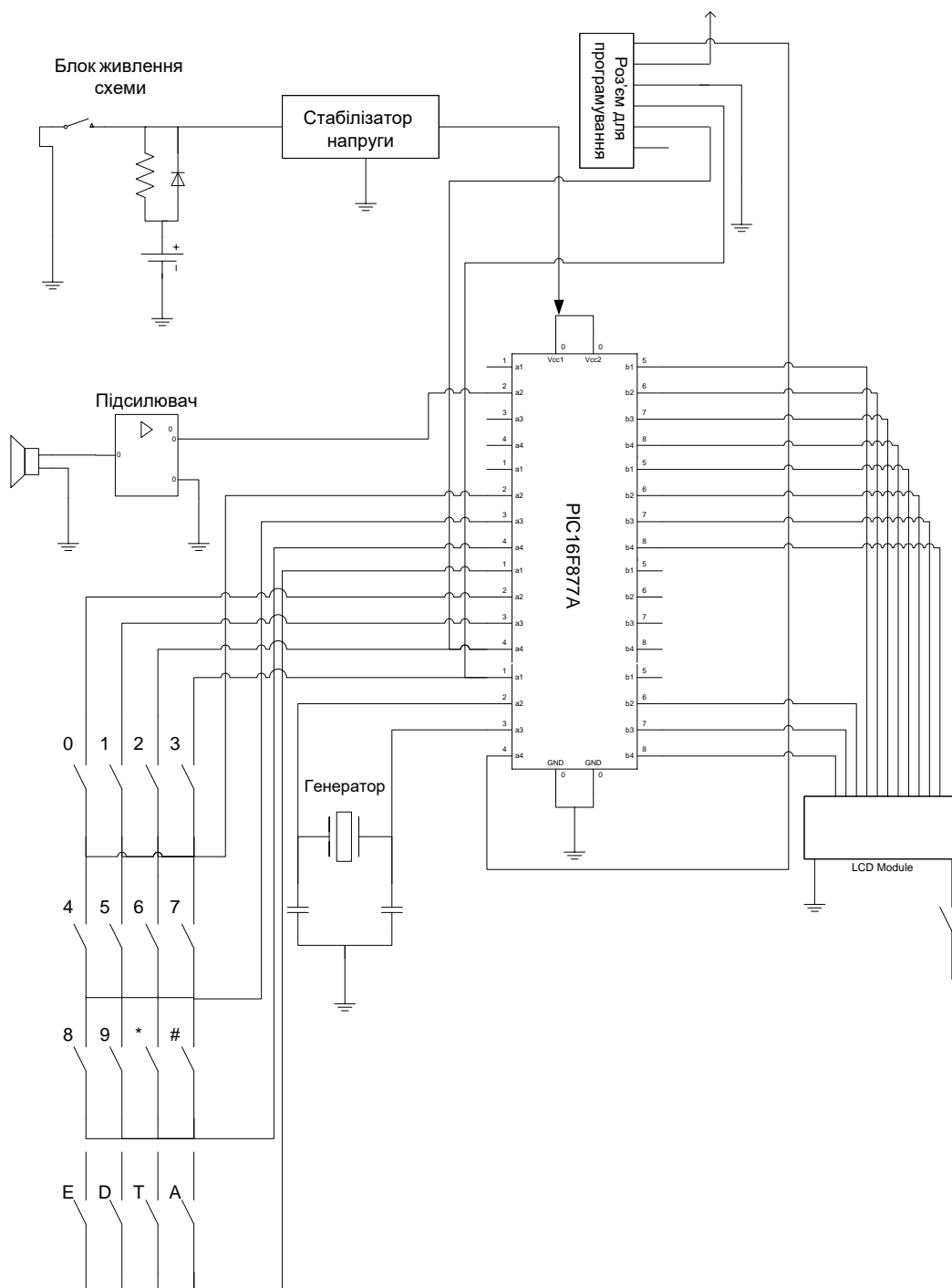


Рисунок 2.13 – Принципова схема багатофункціонального астрономічного годинника

## РОЗДІЛ 3

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

У цьому розділі ми представляємо техніко-економічне обґрунтування вартості створення астрономічного годинника. Загальна вартість пристрою складається з кількох ключових компонентів: вартості розробки програмного забезпечення мікроконтролера, вартості підготовки проєктної документації та вартості збирання пристрою.

#### 3.1 Розрахунок вартості розробки програмного забезпечення для мікроконтролера

У цьому підрозділі здійснюється техніко-економічне обґрунтування витрат на розробку програмного забезпечення для мікроконтролера астрономічного годинника. Враховано актуальні економічні показники, ринкові ціни та типові параметри роботи над програмним забезпеченням.

Основні вихідні дані для розрахунку

Для розрахунку вартості програмного забезпечення використано такі показники:

Таблиця 3.1 — Вхідні дані для визначення витрат на розробку ПЗ (на 01.06.2025)

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	Базова погодинна ставка програміста	грн/год	500
2	Коефіцієнт складності проєкту ( $c$ )	коєф.	1,4
3	Коефіцієнт корекції процесу ( $p$ )	коєф.	0,05
4	Темп зростання витрат (інфляційна корекція)	коєф.	1,25

## Продовження таблиці 3.1

5	Кваліфікаційний коефіцієнт програміста	коєф.	1
6	Амортизаційні відрахування на обладнання	%	10
7	Споживання електроенергії ПК + принтер	кВт·год	0,4
8	Вартість ноутбука середнього класу	грн	17 000,00
9	Тариф на електроенергію	грн/кВт·год	2,64
10	Додаткова заробітна плата (відпустка, лікарняні тощо)	%	10
11	Єдиний соціальний внесок (ЄСВ)	%	22
12	Витрати на доставку та закупівлю	%	5

Розрахунок кількості умовних операторів

Основним фактором для розрахунку є кількість умовних операторів ( $Q$ ) у програмі, яку можна визначити за формулою:

$$Q = y \cdot c \cdot p \quad (3.1)$$

де:

- $y$  — базова кількість операторів (500),
- $c$  — коефіцієнт складності (1,3),
- $p$  — коефіцієнт корекції (0,05).

Підставимо значення:

$$Q = 500 \cdot 1,3 \cdot 0,05 = 32,5 \approx 33$$

Отже, програмний модуль містить 33 умовні оператори, що є базовою одиницею для оцінки обсягу роботи програміста.

Супровід та експлуатаційні витрати

Для повноти техніко-економічного обґрунтування враховуються також витрати, пов'язані з експлуатацією програмного забезпечення та обладнання після розробки:

Таблиця 3.2 — Експлуатаційні та супровідні витрати

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	Кількість обслуговуючого персоналу	осіб	1
2	Погодинна ставка технічного спеціаліста	грн	85
3	Орієнтовний час технічного супроводу	год	150
4	Вартість офісного ПК	грн	25 000,00
5	Амортизація ПК	%	10
6	Амортизація програмного забезпечення	%	10
7	Торговельна націнка (маржа на готовий продукт)	%	20
8	Витрати на обслуговування та ремонт	%	10
9	Орієнтовна вартість 1 години роботи за ПК	грн	35

Таким чином, на основі оновлених економічних показників проведено розрахунок умовної трудомісткості та ключових параметрів розробки програмного забезпечення. Отримані значення слугують основою для подальшого визначення повної собівартості програмного продукту, яка включатиме витрати на оплату праці, енергоспоживання, амортизацію обладнання, супровід, а також обов'язкові податкові та соціальні відрахування.

### 3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Вартість розробки програмного забезпечення розраховується методом витрат, який базується на визначенні трудомісткості окремих етапів розробки та відповідної оплати праці розробників. Такий підхід дозволяє отримати обґрунтовану економічну оцінку загальної вартості створення програмного продукту.

## Формула розрахунку загальної трудомісткості

Загальну трудомісткість розробки ПЗ ( $T_o$ ) визначаємо за формулою:

$$T_o = T_e + T_a + T_p + T_n + T_d \quad (3.2)$$

де:

- $T_e$  — трудові витрати на підготовку опису завдання;
- $T_a$  — трудові витрати на розробку алгоритму розв'язання задачі;
- $T_p$  — витрати на програмування за готовою блок-схемою;
- $T_n$  — витрати на налагодження програмного продукту;
- $T_d$  — витрати на підготовку технічної документації.

### Визначення складових трудомісткості

Оцінимо кожен з етапів розробки окремо, виходячи з вихідних даних, наведених у попередньому пункті (див. таблицю 3.1):

#### 1. Підготовка технічного завдання:

На підставі досвіду та типових витрат часу на підготовку опису завдання для розробки систем керування мікроконтролером приймаємо:  $T_e = 5$  люд.-год.

#### 2. Розробка алгоритму розв'язання задачі:

З урахуванням складності проекту, кваліфікації виконавця ( $K = 1,0$ ) і коригуючого коефіцієнта через нечіткість опису завдання ( $Z = 1,3$ ), витрати становлять:

$$T_a = \frac{273 \cdot 1,3}{25 \cdot 1} \approx 14,2 \approx 14 \text{ люд.-год} \quad (3.3)$$

#### 3. Програмування за готовою блок-схемою:

$$T_p = \frac{273}{20} \cdot 1 = 13,65 \approx 14 \text{ люд.-год} \quad (3.4)$$

#### 4. Налagodження програми (відладження):

Передбачає два рівні складності. Для автономного (нескладного) налагодження:

$$T_{n1} = \frac{273}{30} = 9,1 \approx 9 \text{ люд.-год} \quad (3.5)$$

Для складного функціонального тестування:

$$T_{n2} = \frac{273}{25} = 10,9 \approx 11 \text{ люд.-год} \quad (3.6)$$

У середньому приймаємо:

$$T_n = \frac{T_{n1} + T_{n2}}{2} = \frac{9 + 11}{2} = 10 \text{ люд.-год} \quad (3.7)$$

5. Підготовка технічної документації:

Складається з двох етапів:

– Підготовка рукописних матеріалів:

$$T_{d1} = \frac{273}{30} = 9,1 \approx 9 \text{ люд.-год} \quad (3.8)$$

– Редагування, набір, оформлення:

$$T_{d2} = \frac{273}{35} = 7,8 \approx 8 \text{ люд.-год} \quad (3.9)$$

Загальні витрати на документацію:

$$T_d = T_{d1} + T_{d2} = 9 + 8 = 17 \text{ люд.-год} \quad (3.10)$$

Сумарна трудомісткість розробки

Підставимо всі значення у формулу (3.2):

$$T_o = T_e + T_a + T_p + T_n + T_d = 5 + 14 + 14 + 10 + 17 = \boxed{60 \text{ люд.-год}} \quad (3.11)$$

Загальна трудомісткість на розробку програмного забезпечення для мікроконтролера астрономічного годинника становить 60 людино-годин. Цей показник використовується для подальшого розрахунку заробітної плати, супутніх витрат та повної собівартості проекту, що буде розглянуто в наступному підрозділі.

Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення здійснюється із застосуванням витратного підходу, який враховує трудомісткість, заробітну плату фахівців, матеріальні витрати, використання комп'ютерної техніки та інші супутні витрати.

*a) Розрахунок трудомісткості та заробітної плати*

Трудомісткість розробки розраховується на основі обсягів робіт для кожного етапу та середньої погодинної ставки оплати праці програміста. Усі розрахунки зведено у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Трудомісткість та витрати на оплату праці при розробці програмного забезпечення

<b>Етап розробки</b>	<b>Трудомісткість, люд.-год.</b>	<b>Ставка, грн/год</b>	<b>Заробітна плата, грн</b>
Формування технічного завдання	5	16,5	82,5
Аналітичне опрацювання завдання	5	16,5	82,5
Розробка алгоритму вирішення задачі	11	16,5	181,5
Програмування	12	16,5	198
Тестування та налагодження	83	16,5	1369,5
Підготовка супровідної документації	25	16,5	412,5
Разом	141	–	2326,5

*b)* Матеріальні витрати

Матеріальні витрати охоплюють витрати на витратні матеріали, необхідні для ведення документації та технічної підтримки процесу розробки. Розрахунок представлено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матеріальні витрати

Найменування матеріалу	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Сума, грн
Папір (формат А4)	500 аркушів	0,14	70
Витратні матеріали (цирконіт, 4%)	—	—	2,24
Разом	—	—	72,24

*c)* Вартість використання персонального комп'ютера

Розрахунок вартості використання комп'ютера для виконання програмних робіт ґрунтується на погодинній вартості роботи ПК. Формула розрахунку має вигляд:

$$\text{СПК} = Vg \times (T_{\text{п}} + T_{\text{д}} + T_{\text{всього}}) \quad (3.12)$$

де:

- $Vg$  — вартість 1 години використання ПК (грн);
- $T_{\text{п}}$  — трудомісткість програмування за блок-схемою (люд.-год.);
- $T_{\text{д}}$  — трудомісткість підготовки документації (люд.-год.);
- $T_{\text{всього}}$  — трудовитрати на налагодження програми (люд.-год.).

Для обрахунку приймається середня вартість години роботи ПК – 5 грн/год.

Отже:

$$\text{СПК} = 5 \times (12 + 25 + 83) = 5 \times 120 = 600 \text{ грн.}$$

*d)* Розрахунок загальних технічних витрат на розробку програмного забезпечення

Комплексний розрахунок технічних витрат на створення програмного забезпечення виконується із застосуванням методу повних витрат, який враховує як прямі (матеріали, заробітна плата), так і непрямі витрати, а також обов'язкові соціальні нарахування. Всі розраховані дані узагальнено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Загальні технічні витрати на розробку програмного забезпечення

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Матеріальні витрати (за табл. 3.3)	72,24
2	Основна заробітна плата (за табл. 3.2)	2326,5
3	Додаткова заробітна плата (15% від основної)	349
4	Відрахування на соціальне страхування (37,2% від суми з п.2 і п.3)	865,5
5	Непрямі витрати (25% від основної зарплати)	581,63
6	Витрати на використання комп'ютера	780
7	Загальна собівартість розробки програмного забезпечення	4974,87

Матеріальні витрати (п.1) узяті з таблиці 3.3. Основна заробітна плата (п.2) відповідає розрахункам у таблиці 3.2. Додаткова заробітна плата (п.3) становить 15% від основної заробітної плати. Відрахування на соціальні потреби (п.4) обчислено як 37,2% від суми основної та додаткової заробітної плати. Непрямі витрати (п.5) враховують супутні витрати (амортизація, комунальні послуги тощо) і становлять 25% від основної заробітної плати. Вартість використання ПК (п.6) розрахована у попередньому підрозділі.

Підсумкова собівартість розробки програмного забезпечення (п.7) визначається як сума витрат за пунктами 1–6.

У разі промислового виробництва програмного продукту або використання його у складі пристроїв із вбудованими мікроконтролерами, вартість розробки

може бути пропорційно розподілена на одиницю продукції, що дозволяє оптимізувати витрати при масштабуванні.

### 3.3 Розрахунок витрат на створення конструкторської документації та складання обладнання

а) Визначення трудомісткості розробки конструкторської документації

Трудомісткість розробки конструкторської документації (*TCD*) для програмного продукту визначається на основі сумарних витрат праці на різні етапи процесу, що включають аналіз, проектування, технічну розробку, виготовлення прототипу тощо. Формула для розрахунку має такий вигляд:

$$TCD = T_{атз} + T_{рес} + T_{рк} + T_{рт} + T_{окд} + T_{від} \quad (3.13)$$

де:

- *T<sub>атз</sub>* — витрати праці на аналіз технічного завдання, люд.-год.;
- *T<sub>рес</sub>* — витрати праці на розробку електричних/логічних схем, люд.-год.;
- *T<sub>рк</sub>* — витрати праці на проектування та конструкторську розробку, люд.-год.;
- *T<sub>рт</sub>* — витрати на технічну підготовку, люд.-год.;
- *T<sub>окд</sub>* — витрати на оформлення конструкторської документації, люд.-год.;
- *T<sub>від</sub>* — витрати праці на виготовлення та тестування прототипів, люд.-год.

Розрахункові значення наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розрахунок заробітної плати за розробку конструкторської документації

№ з/п	Вид робіт	Позначення	Погодинна ставка, грн	Обсяг робіт, люд.-год.	Сума, грн
1	Аналіз технічного завдання	<i>T<sub>атз</sub></i>	10.00	2	20.00
2	Розробка схеми	<i>T<sub>рес</sub></i>	10.00	4	40.00

## Продовження таблиці 3.6

3	Проектування та розробка	Трк	10.00	4	40.00
4	Технічна підготовка	Трт	10.00	2	20.00
5	Оформлення конструкторської документації	Токд	10.00	2	20.00
6	Виготовлення та випробування прототипу	Твід	10.00	8	80.00
	Усього:	—	—	22	220.00

Загальна вартість виконаних робіт із розробки конструкторської документації (*SCD*) визначається за формулою:

$$SCD = Sst \times TCD \quad (3.14)$$

де:

- *Sst* — погодинна ставка розробника, грн;
- *TCD* — загальна трудомісткість розробки (див. табл. 3.5).

b) Розрахунок матеріальних витрат на виготовлення документації та прототипів

Матеріальні витрати, необхідні для створення документації та виготовлення дослідного зразка (наприклад, запису програмного забезпечення на носій або друк документації), наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунок вартості матеріалів для розробки документації та прототипу

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Папір (офісний)	аркуші	500	0,14	70.00
Цирконіт (4%)	—	—	—	2.24
Разом				72.24

Матеріальні витрати включають вартість друкованих матеріалів (паперу), а також витратних компонентів, що можуть бути використані у процесі створення прототипу або носія з прошивкою.

Загальна сума витрат (заробітна плата + матеріали) на розробку специфікацій та виготовлення прототипу враховується у загальній структурі технічної собівартості програмного забезпечення.

с) Розрахунок вартості використання персонального комп'ютера в процесі розробки

У процесі розробки програмного забезпечення (зокрема створення інсталяційного носія чи прототипу), використовуються обчислювальні ресурси, серед яких — персональний комп'ютер (ПК) та інші технічні засоби. Вартість їх використання визначається на основі погодинних витрат і враховується в загальній структурі витрат на проєкт.

Визначення вартості використання ПК (формула 3.15)

Загальна вартість використання ПК (ВПК) у процесі проєктування розраховується як добуток вартості однієї години роботи комп'ютера ( $V_{Г}$ ) на сумарний час виконання технічних етапів, які передбачають безпосереднє використання ПК:

$$ВПК = V_{Г} \times (T_{рес} + T_{рк} + T_{рт} + T_{окд}) \quad (3.15)$$

де:

- $V_{Г}$  — вартість 1 години роботи ПК, грн;
- $T_{рес}$  — час, витрачений на розробку схем, люд.-год.;
- $T_{рк}$  — час, витрачений на конструкторське проєктування, люд.-год.;
- $T_{рт}$  — технічна розробка, люд.-год.;
- $T_{окд}$  — оформлення конструкторської документації, люд.-год.

Розрахунок погодинної вартості використання ПК (формула 3.16)

Погодинна вартість використання комп'ютера ( $V_{Г}$ ) визначається як сума:

$$V_{Г} = T_{e/e} + V_{аморт} + Z_{перс} + T_{рем} \quad (3.16)$$

де:

- $T_{e/e}$  — вартість спожитої електроенергії за годину, грн;
- $V_{аморт}$  — амортизаційні відрахування за годину роботи, грн;
- $Z_{перс}$  — погодинна оплата праці технічного персоналу, грн;
- $T_{рем}$  — витрати на ремонт та заміну комплектуючих, грн.

Розрахунок амортизації (формула 3.17)

Амортизаційні витрати на годину визначаються за формулою:

$$V_{\text{аморт}} = (V_{\text{тз}} \times Na) / (Kt \times Hw) \quad (3.17)$$

де:

- $V_{\text{тз}}$  — первісна вартість технічного засобу (ПК), грн;
- $Na$  — річна норма амортизації, %;
- $Kt$  — кількість тижнів у році (52);
- $Hw$  — кількість робочих годин на тиждень (40 годин/тиждень).

Розрахунок оплати праці технічного персоналу (формула 3.18)

$$Z_{\text{перс}} = Okl / K_{\text{рг}} \quad (3.18)$$

де:

- $Okl$  — щомісячна заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн;
- $K_{\text{рг}}$  — кількість робочих годин на місяць (зазвичай — 160 годин).

Розрахунок витрат на ремонт ПК (формула 3.19)

$$T_{\text{рем}} = (V_{\text{тз}} \times N_{\text{рем}}) / (Kt \times Gt) \quad (3.19)$$

де:

- $N_{\text{рем}}$  — відсоткова ставка витрат на обслуговування й ремонт (наприклад, 6%);
- $Gt$  — кількість робочих годин на тиждень (168 годин для безперервної експлуатації).

Розрахунок вартості електроенергії (формула 3.20)

$$Te/e = Ve/e \times P_{\text{пот}} \quad (3.20)$$

де:

- $Ve/e$  — вартість 1 кВт·год електроенергії, грн;
- $P_{\text{пот}}$  — потужність обладнання, що споживає електроенергію (кВт).

Після підстановки розрахункових значень до вищенаведених формул, отримується точна вартість використання ПК для цілей розробки. Це дозволяє більш об'єктивно сформулювати загальну собівартість проєкту, враховуючи не лише людські, а й технічні ресурси.

d) Розрахунок технічних витрат на розробку інсталяційного носія

З метою повного обліку витрат на створення інсталяційного носія програмного продукту було здійснено розрахунок технічних витрат за методом калькуляції статей витрат. Результати подано у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 — Розрахунок технічних витрат на створення інсталяційного носія

№ з/п	Стаття витрат	Примітка	Сума, грн
1	Вартість матеріалів (матеріали для виготовлення та запису <i>CD/DVD</i> )	За даними табл. 3.6	72,24
2	Базова заробітна плата	За даними табл. 3.5	220
3	Додаткова заробітна плата	15% від базової заробітної плати	33
4	Відрахування на соціальні заходи	37,2% від суми базової та додаткової зарплати	94,12
5	Загальновиробничі (накладні) витрати	25% від базової заробітної плати	55
6	Вартість використання ПК під час розробки інсталяційного носія	За даними формули 3.15	18,6
	Загальна вартість створення інсталяційного носія	Сума рядків 1–6	492,96

У даному розрахунку використано такі припущення:

- Матеріальні витрати (п.1) — визначено за попередніми даними (табл. 3.6).
- Базову заробітну плату (п.2) — взято з табл. 3.5.
- Додаткова заробітна плата (п.3) — розрахована як 15% від базової заробітної плати.
- Відрахування на соціальні заходи (п.4) — становлять 37,2% від сукупної заробітної плати (базова + додаткова).

– Загальновиробничі витрати (п.5) — складають 25% від базової заробітної плати.

– Вартість експлуатації ПК (п.6) — визначено згідно з результатами розрахунку в підпункті в).

Отримана сума включає всі основні статті технічних витрат, пов'язаних зі створенням інсталяційного носія продукту, і може використовуватися в загальному підрахунку повної собівартості розробки програмного забезпечення.

### 3.4 Облік витрат на етапі виробництва продукції

Розрахунок вартості розроблюваного продукту базується на стандартизованих витратах матеріалів та оплаті праці. Для визначення собівартості враховуються норми витрат сировини та основних матеріалів на одиницю продукції.

Таблиця 3.9 — Розрахунок вартості сировини та матеріалів на одиницю продукції

<b>Матеріал</b>	<b>Норма витрат (од.)</b>	<b>Оптова ціна, грн/од.</b>	<b>Фактична витрата (од.)</b>	<b>Фактична вартість, грн</b>
Склотканина СФ-2-35 (лист 1,0; ДСТУ10316-78)	0,5 кг	100	0,4 кг	40
Зварювальний ПОС-61 (ДСТУ 21930-76)	0,05 кг	500	0,05 кг	25
Всього матеріалів:				65
Транспортні та закупівельні витрати (4%)				2,6
Разом:				67,6

При визначенні собівартості також враховуються специфікації матеріалів, закуплених комплектуючих та напівфабрикатів, які використовуються у виробництві.

Таблиця 3.10 — Кількість компонентів та їх вартість для одного виробу

Елемент	Марка	Назва та характеристики	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
Активні компоненти					
Мікроконтролер	ДД1	PIC16F877A	1	98,75	98,75
Підсилювач	ДД2	LM386	1	5	5
Регулятор напруги	Так1	LM7805	1	11,25	11,25
Діод	ВД2	КД102Б	2	9,5	19
Індикатори	Водень1	РК-дисплей модуль	1	120	120
Пасивні компоненти					
Резистор	Р1	МЛТ-0,125-2,2 кОм	1	0,25	0,25
Резистори	Р2, Р3	МЛТ-0,125-10 кОм	2	0,4	0,8
Конденсатори	С2	К31-11-1Г-30В 22 пФ	2	1,5	3
Інше					
Кварцовий резонатор	Чжу Цін1	Кварцовий резонатор 4 МГц	1	50	50

Продовження таблиці 3.10

Акустичний перетворювач	Доменна піч1	Акустичний перетворювач	1	11,25	11,25
Кнопка	СБ1-SB16	ПКТ-150	16	0,25	4
Кнопка	Південна Африка1	ТВК-1-2	1	2,5	2,5
Всього:					325,8

Ці розрахунки є основою для точного контролю собівартості продукції і подальшого планування виробничих витрат, забезпечуючи прозорість і оптимізацію ресурсів на виробничому етапі.

Визначення заробітної плати основних виробничих працівників здійснюється на основі норм інтенсивності праці для різних операцій та погодинних тарифних ставок (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 — Розрахунок базової заробітної плати

Назва операції	Годинна ставка, грн	Час на виконання, год	Відрядна оплата, грн
Урожай	5,67	0,5	2,84
Фрезерування	6,08	0,8	4,86
Слюсарні роботи	6,08	1	6,08
Гравіювання	5,67	0,5	2,84
Фотохімічний друк	5,67	1,2	6,8
Поточні роботи	6,08	2	12,16
Маркування	5,67	0,1	0,57
Складання креслень	5,67	1,2	6,8

## Продовження таблиці 3.11

Асамблея	5,67	0,5	2,84
Налаштування	6,08	0,7	4,26
Разом:			50,05

На основі цих розрахунків формується базова заробітна плата, яка враховується при формуванні собівартості продукції.

### 3.5 Розрахунок собівартості та ціноутворення

У таблиці 3.12 наведено розподіл витрат на основні статті, які формують кінцеву собівартість продукту.

Таблиця 3.12 — Розрахунок собівартості та ціноутворення продукції

Стаття витрат	Вартість, грн
Прямі матеріальні витрати	67,6
Придбані комплектуючі деталі	325,8
Базова заробітна плата	50,05
Додаткова заробітна плата (15% від базової)	7,5
Відрахування на соціальні заходи (37,2%)	21,41
Загальновиробничі (накладні) витрати (25%)	12,51
Вартість виробництва (собівартість)	298,35
Загальна вартість одиниці продукції	783,22

### 3.6 Підсумкова вартість продукту

Загальна собівартість продукту формується за формулою:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{прогр}} + Z_{\text{підгот}} \quad (3.21)$$

де

- $Z_{\text{прогр}}$  — вартість програмування мікроконтролера;
- $Z_{\text{підгот}}$  — вартість підготовки компакт-диска та складання обладнання.

Для одиничного виробництва:

$$Z_{\text{заг}} = 4974,87 + 470,28 = 5445,15 \text{ грн} \quad (3.22)$$

Вартість виготовлення одиниці продукції при замовленні 1000 одиниць:

$$Z_{1000} = \frac{4974,87}{1000} + \frac{298,35}{1000} + 171,93 = 177,20 \text{ грн} \quad (3.23)$$

Зі збільшенням обсягів виробництва собівартість одиниці продукції суттєво знижується (не враховуючи витрати на закупівлю комплектуючих). Для радіоаматорів не рекомендується копіювати цей пристрій, оскільки промислове виробництво електронних годинників забезпечує більшу ефективність та нижчу вартість, а також широкий функціонал, більш адаптований до повсякденного використання.

## ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні представлено проект багатофункціонального астрономічного годинника, який наразі не має промислового втілення. Розглядаються теоретичні основи створення пристрою на базі мікроконтролера, включно з етапами розробки, програмування та інтеграції у виробничий процес.

Робота охоплює комплексну розробку годинника, який відображає різні часові формати — марсіанський, юліанський, місячний та інші. Обрано оптимальний мікроконтролер для реалізації всіх функціональних вимог, створено структурні й функціональні схеми пристрою, а також розроблено унікальну апаратну архітектуру.

У економічній частині проведено детальний розрахунок вартості виготовлення електронного астрономічного годинника. Незважаючи на обмежену практичну користь, цей пристрій виконує роль меморіального годинника з розширеним набором функцій — зокрема, «Земного годинника» та таймера для зворотного відліку.

Очікується, що при переході до масового виробництва собівартість одиниці значно знизиться завдяки розподілу витрат на розробку апаратного та програмного забезпечення між великою кількістю вироблених пристроїв.

Під час розробки активно використовувалися різноманітні джерела інформації, включно з аналізом існуючих аналогів у відкритих джерелах та інтернет-магазинах, де також були враховані актуальні ціни на компоненти.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Куксенко С. П. Мікроконтролери родини *PIC*: теорія та практика. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 412 с.
  2. Білоусов В. А. Мікропроцесорні системи та мікроконтролери. – Київ : Центр навчальної літератури, 2019. – 384 с.
  3. Робертс М. Основи програмування мікроконтролерів *PIC*. – Харків : Ранок, 2017. – 256 с. (Може бути переклад або адаптація іноземного автора).
  4. Степаненко О. С. Цифрова схемотехніка та мікропроцесорні пристрої. – Одеса : Астропринт, 2020. – 300 с.
  5. Григорович В. В. Проектування вбудованих систем на мікроконтролерах. – Дніпро : ДНУ, 2021. – 280 с.
  6. Давидов С. О. Електронні годинники: принципи побудови та реалізації. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 180 с.
  7. Іванов П. М. Реалізація годинника реального часу на мікроконтролерах *PIC*. – *Вісник технічного університету*. – 2022. – № 3. – С. 75–82.
  8. Коваленко Р. В. Оптимізація енергоспоживання електронних годинників з використанням *PIC*-мікроконтролерів. – *Наукові записки НаУКМА. Серія: Комп'ютерні науки*. – 2023. – № 1. – С. 112–119.
  9. Мельник Л. В. Розробка інтерфейсів користувача для вбудованих систем на базі *PIC16F877A*. – *Системи обробки інформації*. – 2021. – № 4. – С. 130–137.
- Стандарти та технічна документація
10. *Microchip Technology Inc. PIC16F87XA Data Sheet*. – 2023. – 250 с. (Офіційна технічна документація на мікроконтролер *PIC16F877A*, доступна на сайті *Microchip*).
  11. *IEEE Std 1708-2009. Standard for Real-Time Clock (RTC) Control*. – Нью-Йорк : *IEEE*, 2009. – 45 с.
  12. *Microchip Technology Inc.* Офіційний сайт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com> (дата звернення: 07.06.2025).

13. *EETech. All About Circuits*. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com> (дата звернення: 07.06.2025).

14. *Hackaday*. Електроніка та мікроконтролери. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hackaday.com> (дата звернення: 07.06.2025).

15. *Electronics Tutorials*. Мікроконтролери та цифрова електроніка. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.electronics-tutorials.ws> (дата звернення: 07.06.2025).

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

ВІДГУК  
керівника кваліфікаційної роботи

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

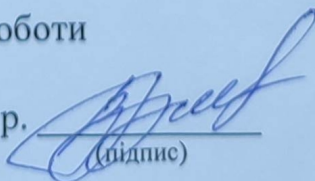
Олександр КУЛПУШ

(ім'я, прізвище)

1. Кваліфікаційна робота на тему «Функціональні можливості електронного годинника на базі PIC16F877A» виконана в ініціативному порядку.
2. Метою кваліфікаційної роботи є створення електронного годинника, який не матиме стандартних недоліків, притаманних побутовим електронним годинникам.
3. Кваліфікаційна робота відповідає темі, затвердженій наказом начальника коледжу.
4. Кваліфікаційна робота виконана здобувачем освіти самостійно.
5. Здобувач освіти показав високі вміння роботи з літературними джерелами, аналіз теоретичного та практичного матеріалу, приймання обґрунтованих рішень, застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.
6. Олександр КУЛПУШ показав достатній рівень дотримання вимог державних стандартів при виконанні кваліфікаційної роботи в цілому та оформленні пояснювальної записки.
7. Рівень виконаної кваліфікаційної роботи заслуговує оцінку «добре», відповідає набутих випускником знань, умінь та навичок, вимогам освітньої характеристики фахівця і можливість присвоєння йому кваліфікації фахівця освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Керівник кваліфікаційної роботи

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

  
(підпис)

Владислав СОБЧУК  
(ім'я, прізвище)

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА  
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

**РЕЦЕНЗІЯ**  
на кваліфікаційну роботу

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

Олександр КУЛУШ

(ім'я, прізвище)

1. Актуальність теми: Обрана тема кваліфікаційної роботи «Функціональні можливості електронного годинника на базі PIC16F877A» є актуальною.

2. Кваліфікаційна робота відповідає темі, затвердженій наказом.

3. Завдання на виконання кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.

4. В результаті виконання кваліфікаційної роботи було створено електронного годинника, який не буде мати стандартних недоліків, притаманних побутовим електронним годинникам.

5. Якість виконання пояснювальної записки та ілюстративного (графічного) матеріалу відповідає вимогам Державних стандартів.

6. В кваліфікаційній роботі зроблений акцент на дані отримані на практиці («живі» експерименти).

7. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре».

Рецензент \_\_\_\_\_ викладач, «спеціаліст вищої категорії» \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, посада)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Андрій КРАВЧАТИЙ  
(ім'я, прізвище)

З рецензією ознайомлений \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександр КУЛУШ  
(ім'я, прізвище)