

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розроблення та дослідження пристрою для проведення
відеоконференцій на базі мікропроцесорного контролера ATmega32U4»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАм-61
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва спеціальності)

		Котельніков Б.Л.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Медвідь В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Козбур В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		Савків В.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Карташов В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АВ
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 2025р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Котельніков Богдан Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розроблення та дослідження пристрою для проведення відеоконференцій на базі мікропроцесорного контролера ATmega32U4.

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Медвідь Володимир Романович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «20» листопада 2025 року № 4/7-1007

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 23.12.2025р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Алгоритмічні та програмні рішення для емуляції USB HID-пристроїв; дослідження інтерфейсів ґрування платформ Zoom, Microsoft Teams, Google Meet; порівняльні характеристики ікроконтролерних платформ для створення периферії; технічна документація ікроконтролера ATmega32U4, платформи Arduino Pro Micro, специфікація стандарту USB ID; стандарти ДСТУ 3008:2015, ДСТУ EN 62368-1:2017.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд літератури, аналітична частина
2. Науково-дослідна частина
3. Технологічна частина
4. Конструкторська, проєктна частина
5. Спеціальна частина
7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальна частина</i>	<i>доц. Коноваленко І.В.</i>		
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>доц. Тотосько О.В.</i>		
	<i>асист. Теслюк В.М.</i>		

« 20 » листопада 20 25 р.

[illegible]

Котельніков Богдан Леонідович
(прізвище та ініціали)

Медвідь Володимир Романович

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці універсального апаратного пристрою для керування програмним забезпеченням відеоконференцій.

У роботі проведено аналіз сучасного ринку контролерів та програмних платформ (Zoom, Microsoft Teams, Google Meet). Обґрунтовано вибір апаратної бази – мікроконтролера ATmega32U4 (платформа Arduino Pro Micro), що підтримує нативний USB HID-інтерфейс.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою, спроектовано друковану плату та корпус. Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення мовою C++, яке реалізує емуляцію «гарячих клавіш» для керування мікрофоном, камерою та іншими функціями. Проведено експериментальні дослідження, що підтвердили надійність, швидкодію та крос-платформеність пристрою (сумісність з Windows, MacOS, Linux).

Виконано техніко-економічне обґрунтування, яке доводить доцільність впровадження пристрою у виробництво, та розроблено технологічний процес виготовлення. Розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ABSTRACT

The master's thesis is dedicated to the development of a universal hardware device for controlling video conferencing software.

The thesis includes an analysis of the current market of controllers and software platforms (Zoom, Microsoft Teams, Google Meet). The choice of the hardware base – the ATmega32U4 microcontroller (Arduino Pro Micro platform), which supports the native USB HID interface – is substantiated.

The structural and electrical schematic diagrams of the device have been developed, and the printed circuit board (PCB) and casing have been designed. The operation algorithm and software in C++ have been developed to implement "hotkey" emulation for controlling the microphone, camera, and other functions. Experimental studies were conducted, confirming the device's reliability, speed, and cross-platform compatibility (support for Windows, MacOS, Linux).

A technical and economic justification proving the feasibility of introducing the device into production has been carried out, and the manufacturing process has been developed. Occupational health and safety issues are also addressed.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ABSTRACT	5
ЗМІСТ	6
ВСТУП.....	9
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.....	11
1.1.1 Огляд існуючих апаратних аналогів	11
1.1.2 Огляд цільових програмних платформ	15
1.1.3 Огляд апаратних платформ для реалізації пристрою	17
1.1.4 Детальний огляд обраної апаратної платформи Arduino Pro Micro.....	20
1.2 Актуальність виконання роботи	21
1.3 Методи вирішення поставленої задачі.....	22
1.4 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра	23
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	27
2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження	27
2.2 Програма і методика теоретичних та експериментальних досліджень.....	27
2.3 Обробка результатів досліджень	30
2.4 Аналіз і узагальнення отриманої інформації	31
2.5 Наукові і практичні висновки, пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень	31
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31
3.1 Характеристика виробу та його призначення	31
3.1.1 Аналіз умов роботи виробу, матеріалу та його властивостей	31

3.1.2 Аналіз конструктивних особливостей виробу та технологічних особливостей його виготовлення.....	32
3.1.3 Аналіз технічних умов на виготовлення виробу	33
3.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виробу.....	33
3.3 Техніко-економічне обґрунтування проекту.....	35
3.3.1 Загальні положення.....	35
3.3.2 Економічна характеристика проектного виробу.....	35
3.3.3 Визначення комплексного показника якості.....	35
3.3.4 Розрахунок лімітної ціни нового виробу	38
3.3.5 Визначення показників економічної ефективності проектних рішень	38
3.3.5.1 Аналіз умов економічної ефективності	38
3.3.5.2 Визначення собівартості і ціни спроектованого пристрою	39
3.3.6 Розрахунок терміну служби пристрою за амортизаційним терміном	41
3.3.7 Визначення економічного ефекту в сфері експлуатації.....	42
3.3.8 Висновки до економічної частини.....	43
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	43
4.1 Аналіз вихідних даних на проектування і розробка технічного завдання на проектування.....	44
4.2 Підбір серійного обладнання	44
4.2.1 Вибір елементної бази	44
4.2.2 Вибір активних елементів	44
4.2.3 Вибір пасивних елементів	45
4.3 Вибір, розрахунок та опис принципової, структурної схем	45
4.3.1 Структурна схема	46
4.3.2 Схема електрична принципова (ЕЗ)	47
4.4 Проектування та розрахунок вузлів та деталей	48

4.5 Розробка друкованих плат.....	51
СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	51
5.1 Розробка програм для проведення проектувальних розрахунків... ..	52
5.1.1 Алгоритм розрахунку (Алгоритм роботи програми)... ..	52
5.1.2 Структура програмного забезпечення (Блок-схема)... ..	53
5.2 Розробка керуючих програм для систем програмного керування	55
5.2.1 Алгоритм керуючої програми (Вибір мови програмування)	55
5.2.2 Структура керуючої програми (Опис середовища розробки)	55
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	57
6.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці при збиранні та паянні... ..	58
6.3 Заходи щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС).....	58
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
Додаток 1. Електрична принципова схема пристрою для проведення відео конференцій	62
Додаток 2. Друкована плата пристрою для проведення відео конференцій ..	63
Додаток 3. Код функціональний прототип пристрою для проведення відео конференцій	64
Додаток 4. Код програми пристрою для проведення відео конференцій	65

ВСТУП

Враховуючи реалії сучасного життя, епідеміологічну ситуацію та перехід багатьох підприємств на віддалену роботу, виросла популярність відеоконференцій. Даний спосіб зв'язку використовує дуже велика кількість людей на планеті, починаючи учнями в школах і студентами в університетах, закінчуючи лікарями, інженерами і політиками, які за допомогою таких методів зв'язку вирішують поставлені перед ними задачі.

На ринку існує багато різних платформ для проведення відеоконференцій. Кожна з них має свій інтерфейс, специфіку роботи, тому для спрощення проведення конференцій, було вирішено розробити пристрій для проведення відеоконференцій.

Провівши аналіз ринку в даному сегменті, зроблено наступні висновки:

- Наявні на ринку контролери для проведення відеоконференцій коштують дорого.
- Вони придатні для проведення конференцій за допомогою специфічного обладнання.
- Більшість з них не вміють працювати з популярними і умовно безкоштовними платформами для відеоконференцій.
- Програмне забезпечення для їх роботи коштує дуже дорого.

Актуальність теми магістерської роботи полягає у вирішенні проблеми високої вартості та низької сумісності існуючих апаратних контролерів відеоконференцій, шляхом створення доступного, універсального пристрою, орієнтованого на масового користувача.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка пристрою для проведення відеоконференцій, який дозволяв би спростити проведення відеозустрічей на базі найбільш популярних сьогодні платформ, таких як: ZOOM, Google Meet, Microsoft Teams.

Об'єктом дослідження є процес управління програмним забезпеченням для відеоконференцій.

Предметом дослідження є проектування та розробка мікроконтролерного пристрою для апаратної емуляції команд управління відеоконференціями.

Пристрій, що розробляється, являє собою пристрій на базі мікроконтролера, який підключається до комп'ютера за допомогою USB. Принцип дії заснований на посиланні команд до комп'ютера, на якому запущена програма для проведення відеоконференцій. Програма, в свою чергу, буде розпізнавати відправлені мікроконтролером команди і виконувати дії, які закладені в ці команди (шляхом імітації натискання комбінацій "гарячих клавіш").

Наукова новизна полягає в оптимізації схемотехнічного рішення та розробці алгоритму, що забезпечує сумісність пристрою з декількома програмними платформами (multi-platform) при мінімальній собівартості компонентів.

Практичне значення роботи полягає у створенні готового до відтворення, недорогого (вартістю не більше 1000 гривень) пристрою з інтуїтивно простим використанням (Plug and Play) та зрозумілим інтерфейсом.

Для досягнення мети в роботі поставлені наступні **задачі**:

1. Провести аналіз стану питання за літературними та ринковими джерелами.
2. Обґрунтувати актуальність виконання роботи.
3. Визначити методи вирішення поставленої задачі.
4. Провести науково-дослідну частину, що включає обробку результатів досліджень.
5. Розробити технологічний процес та повний комплект конструкторської документації (схеми, плати).
6. Розробити алгоритми та програмне забезпечення для мікроконтролера.
7. Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами

Аналіз стану питання включає огляд існуючих на ринку комерційних рішень (аналогів), програмних платформ, для яких проектується пристрій, та апаратних платформ, що можуть бути використані для його реалізації.

1.1.1 Огляд існуючих апаратних аналогів

На ринку представлена велика різноманітність пристроїв для проведення відеоконференцій, це різноманітні контролери і комплекси, різних виробників і в різному ціновому діапазоні.

1. Система для відео конференцій Logitech Group

Logitech Group (Рис. 1.1) — це комплексне рішення для відеоконференцзв'язку, призначене для приміщень середнього та великого розміру (до 14–20 осіб). Система позиціонується як доступна альтернатива дорогим корпоративним системам телеприсутності.

Склад та конструктивні особливості:

Комплекс складається з моторизованої камери (PTZ), повнодуплексного спікерфона, концентратора (хаба) для з'єднання всіх компонентів, пульта дистанційного керування та системи кріплень.

Технічні характеристики:

Відео: Камера забезпечує якість зображення Full HD (1080p) зі швидкістю 30 кадрів на секунду. Ключовою особливістю є високоякісна оптика з 10-кратним зумом без втрати якості (lossless zoom) та моторизоване керування панорамуванням (260°) і нахилом (130°). Підтримка стандарту стиснення H.264 з масштабованим кодуванням відео (SVC) та технологією UVC 1.5 дозволяє зменшити навантаження на процесор комп'ютера, виконуючи обробку відео всередині камери.

Аудіо: Система оснащена спікерфоном з чотирма всеспрямованими мікрофонами, що забезпечують охоплення звуку в радіусі 6 метрів. Використовуються технології ехопоглинання, шумозаглушення та формування променя (beamforming) для чіткої передачі мови.

Інтерфейси: Підключення до ПК здійснюється через інтерфейс USB 2.0 за принципом Plug-and-Play. Для аудіозв'язку з мобільними пристроями передбачено бездротове з'єднання через Bluetooth та NFC.

Аналіз як аналога:

Переваги: Висока якість оптики, універсальність (сумісність з Zoom, Teams, Skype for Business), простота розгортання.

Недоліки у контексті даної роботи: Головним недоліком є висока вартість системи, яка становить понад 40 000 грн , що робить її недоступною для індивідуального використання, малого бізнесу або освітніх цілей з обмеженим бюджетом. Крім того, система є стаціонарною і громіздкою, що ускладнює її мобільне використання.



Рисунок 1.1 – Система для відео конференцій Logitech Group.

2. Система для відео конференцій ConferenceCam Connect

Конференц-камера ConferenceCam Connect — це оптимізоване рішення для спільної роботи в невеликих групах (від 1 до 6 осіб). Вона зручна в налаштуванні та дозволяє підключатися до кількох пристроїв, тим самим виводячи співпрацю за допомогою відеозв'язку на новий рівень.

Камера ConferenceCam Connect оснащена скляним об'єктивом ZEISS® з автофокусом і вирізняється неймовірно широким 90-градусним полем огляду з можливістю цифрового панорамування, механічного регулювання нахилу та 4-кратним цифровим масштабуванням у форматі Full HD. Мобільний пристрій гучного зв'язку підтримує бездротову технологію Bluetooth®, технологію зв'язку малого радіусу дії (NFC) та оснащений USB-портом. Завдяки об'ємному звучанню співрозмовники можуть чудово чути один одного в радіусі 3,6 м, а технології ехо- та шумозаглушення створюють ефект реального спілкування.

Камера ConferenceCam Connect може працювати від мережі змінного струму або від акумулятора, дозволяє підключатися до кількох пристроїв одночасно та сертифікована провідними платформами уніфікованих комунікацій Microsoft®, Cisco® і Skype.

Система (Рис. 1.2) призначена для проведення відеоконференцій з використанням технології Plug and Play.

- *Переваги*: висока якість звуку і зображення.
- *Недоліки*: відсутність можливості роботи з найбільш популярними програмами для проведення відеоконференцій (орієнтована на власне ПЗ або обмежений список партнерів) та висока вартість – близько 12 тисяч гривень



Рисунок 1.2 – Система для відео конференцій ConferenceCam Connect.

Висновок по аналогам: Проведений аналіз ринку показав, що існуючі рішення є або комплексними системами (як Logitech Group), що включають власну камеру та аудіосистему, або вузькоспеціалізованими контролерами (як ConferenceCam Connect). Їх спільними недоліками є висока ціна та часто закрита екосистема.

Крім того, під час аналізу ринку не було знайдено простого пристрою-контролера, який міг би працювати з обладнанням від сторонніх виробників (будь-які web-камери і мікрофони), тобто всі представлені на ринку товари працюють тільки в системі, як одне ціле.

1.1.2 Огляд цільових програмних платформ

Пристрій, що розробляється, має бути сумісним з найбільш популярними платформами, керування якими буде здійснюватися шляхом емуляції "гарячих клавіш".

1. ZOOM Програма для відеоконференцій, розроблена компанією Zoom Video Communications. Надає послугу відеотелефонії, яка дозволяє підключати до 100 пристроїв одночасно безкоштовно (з 40-хвилинним обмеженням). Пандемія COVID-19 відзначила найбільший сплеск популярності Zoom для віддаленої роботи та дистанційного навчання [3]. Гарячі клавіші, що будуть використовуватися:

- Alt + Y – підняти руку.
- Alt + M – вимкнути мікрофон.
- Alt + A – перемкнути мікрофон.
- Alt + U – показати/приховати панель учасників.
- Alt + V – запуск/зупинка відео.
- Alt + F1 – перейти в режим доповідача.
- Alt + T – пауза/відновлення трансляції екрану.
- Alt + Shift + S – запуск/зупинка трансляції екрану.
- Alt + F4 – завершити конференцію [4].

2. Microsoft Teams Продукт для командної роботи в Microsoft Office 365, який об'єднує користувачів, контент та інструменти. Додаток поєднує чат, обмін файлами та відеозустрічі. Розроблений для смартфонів (Android, iOS) та комп'ютерів (Windows 7 і вище, Mac OS X 10.10 і новіше) [5]. Гарячі клавіші, що будуть використовуватися:

- Ctrl + Shift + O – ввімкнути/вимкнути камеру.
- Ctrl + Shift + M – ввімкнути/вимкнути мікрофон.
- Ctrl + Shift + E – відкрити панель трансляції екрану.
- Ctrl + Shift + B – завершити зустріч [6].

3. Google Meet (Попередня назва Hangouts Meet) — сервіс відеотелефонного зв'язку, розроблений компанією Google. Є одним з двох додатків, які замінили Google Hangouts [7]. Гарячі клавіші, що будуть використовуватися:

- Ctrl + E - ввімкнути/вимкнути камеру.
- Ctrl + D - ввімкнути/вимкнути мікрофон.

1.1.3 Огляд апаратних платформ для реалізації пристрою

Для реалізації проекту потрібна апаратна платформа (мікроконтролер), яка буде обробляти команди від користувача і перетворювати їх в зрозумілі комп'ютеру команди, шляхом імітації натискання комбінацій клавіш (стандарт HID – Human Interface Device).

1. MSP430 Сімейство 16-розрядних мікроконтролерів від Texas Instruments. Має архітектуру Vonneiman з єдиним адресним простором для команд і даних [8].

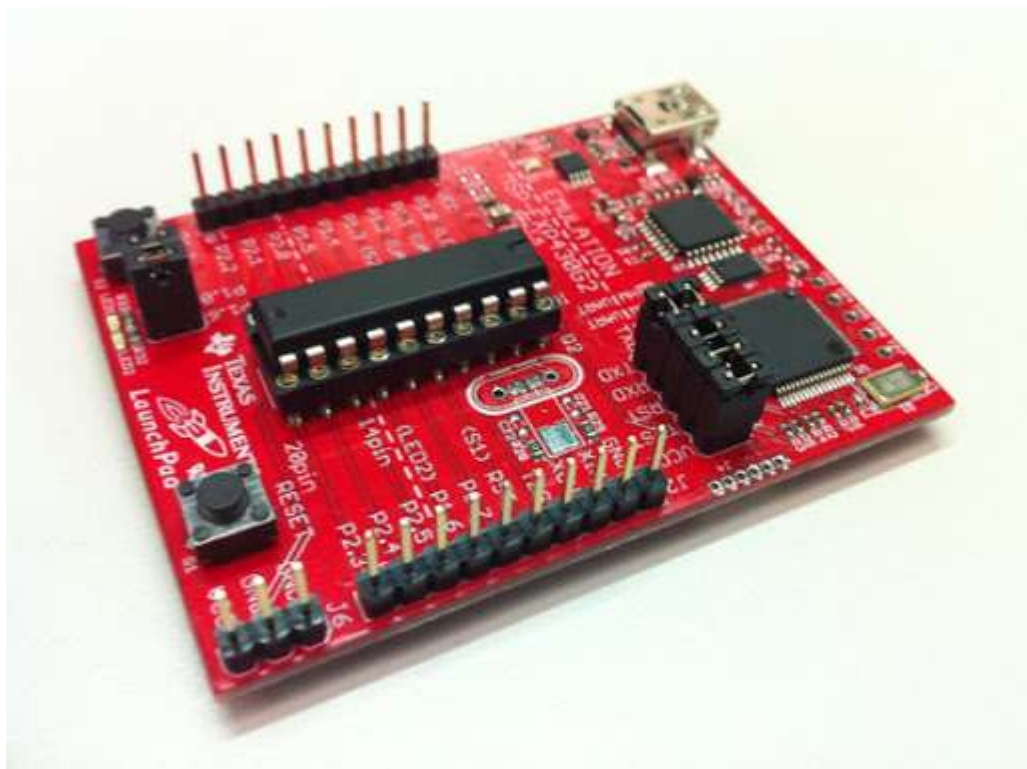


Рисунок 1.4.1 Мікроконтролер MSP430

2. ESP8266 Мікроконтролер від китайського виробника Espressif з вбудованим інтерфейсом Wi-Fi. Здатний запускати програми із зовнішньої SPI-пам'яті [8].



Рисунок 1.4.2 – Мікроконтролер ESP8266

3. STM32 Сімейство 32-розрядних мікроконтролерів виробництва STMicroelectronics. Чіпи згруповані в серії, кожна з яких використовує 32-розрядне ядро ARM (Cortex-M7F, Cortex-M4F, Cortex-M3 та ін.). Кожен мікроконтролер складається з ядра, статичної ОЗП, флеш-пам'яті та різноманітних периферійних інтерфейсів [8].



Рисунок 1.4.3 – Мікроконтролер STM32

4. Arduino Pro Micro Повнофункціональний мініатюрний пристрій на основі мікроконтролера ATmega32U4, адаптований для використання з

макетною платою. Функціонал пристрою схожий на Arduino Duemilanove, але відрізняється розмірами, відсутністю роз'єму живлення та типом USB (Mini-B або Micro-B) [1].



Рис. 1.4.4 – Мікроконтролер Arduino Pro Micro

Порівняння та вибір платформ

Для вибору оптимальної платформи проведемо порівняльний аналіз. Ключовою вимогою для даного проекту є нативна підтримка USB та можливість роботи в режимі HID (імітація клавіатури).

Таблиця 1.1 – Характеристики платформ придатних для реалізації данного проекту

	MSP430	ESP8266	STM32	Arduino Pro Micro
Процесор	MSP430	Tensilica L106	Серія Cortex (залежно від індексу)	ATmega32U4
Пам'ять	ПЗУ: 4 КБайт; ОЗУ: 256 Байт	ПЗУ: 448 кБайт ОЗУ: 520 кБайт	ПЗУ: 128 кБайт ОЗУ: 512 Байт	ПЗУ: 32 КБ ОЗУ: 2.5 кБайт
Частота процесора	8 МГц	240 МГц	120 МГц	16 МГц
Ціна	130 грн.	170 грн.	170 грн	160 грн.

Після порівняння мікроконтролерів, представлених на ринку, було прийнято рішення: розробку проводити на базі **Arduino Pro Micro**. *Обґрунтування вибору:* Мікроконтролер ATmega32U4, що є серцем Arduino Pro Micro, має вбудований повношвидкісний USB-контролер, що дозволяє йому легко імітувати HID-пристрої (клавіатуру, мишу) без додаткових мікросхем-перетворювачів (як, наприклад, у Arduino Uno/Nano). Співвідношення «ціна/можливості» (включаючи простоту програмування та велику спільноту) є найвищим для реалізації даного проекту.

1.1.4 Детальний огляд обраної апаратної платформи **Arduino Pro Micro**

Центральним модулем пристрою, що розробляється, є апаратна платформа Arduino Pro Micro (Рис. 1.6.1). Це мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega 32U4, адаптований як для макетування, так і для інтеграції в друковану плату.



Рисунок 1.6.1 – Зовнішній вигляд Arduino Pro Micro

В таблиці 1.6 представлено детальні характеристики Arduino Pro Micro

Таблиця 1.6 – Характеристики платформи Arduino Pro Micro.

Мікроконтролер	Atmel ATmega32U4
Робоча напруга (логічний рівень)	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи / виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА

Flash-пам'ять	32 КБ (ATmega32U4) з яких 4 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2.5 КБ (ATmega32U4)
EEPROM	1 КБ (ATmega32U4)
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1.85 см x 4.3 см

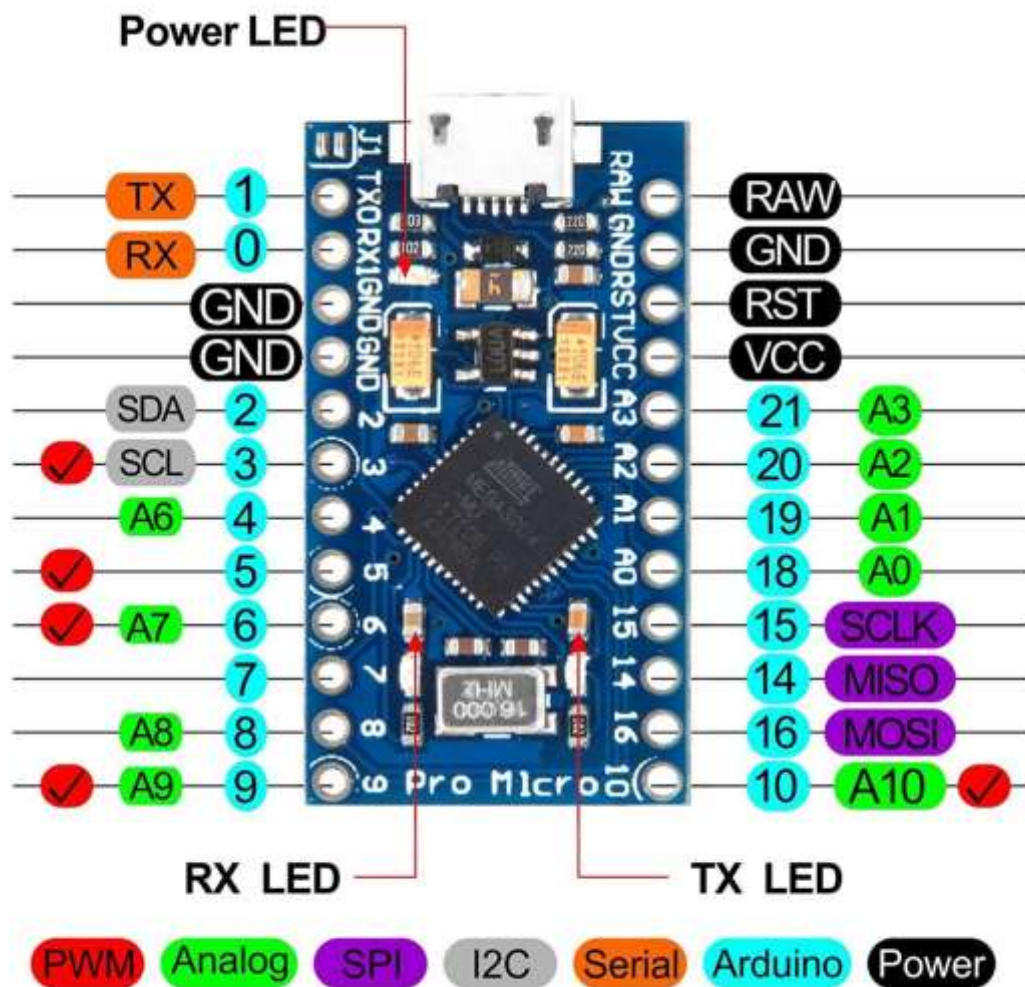


Рис. 1.6.2 – Корпус Arduino Pro Micro та конфігурація його виводів

1.2 Актуальність виконання роботи

Актуальність даної магістерської роботи зумовлена стрімкими змінами у глобальних суспільних та економічних процесах. Відеоконференції в сучасному світі є дуже популярним способом зв'язку, оскільки велика кількість платформ є умовно безкоштовними, а покриття інтернет-провайдерів збільшується, забезпечуючи швидкісний зв'язок навіть у віддалених регіонах.

У зв'язку з епідеміологічною ситуацією останніх років, багато людей перейшли на дистанційний формат роботи та навчання, використовуючи вищезгаданий спосіб зв'язку замість того, щоб наражати себе на небезпеку та проводити зустрічі наживо [14, 15, 16, 17].

Проте, кожна програмна платформа (Zoom, Teams, Meet) має свій унікальний інтерфейс та набір "гарячих клавіш", що створює плутанину та незручності для користувачів. Існуючі на ринку апаратні контролери, як показав аналіз (п. 1.1.1), є дорогими та переважно орієнтованими на закриті корпоративні системи.

Таким чином, розробка **універсального, дешевого та інтуїтивно зрозумілого** апаратного пристрою для керування основними функціями найпопулярніших платформ відеоконференцій є високоактуальною інженерною задачею.

1.3 Методи вирішення поставленої задачі

Для досягнення мети та вирішення поставлених задач у магістерській роботі будуть використані наступні наукові та інженерні методи:

1. Аналітичні методи:

- *Аналіз ринку:* Дослідження існуючих комерційних аналогів, їх переваг, недоліків та цінової політики.
- *Порівняльний аналіз:* Систематизація та порівняння програмних платформ (Zoom, Teams, Meet) для виявлення спільних функцій керування (ввімк/вимк мікрофону, камери тощо) та відповідних їм "гарячих клавіш".
- *Порівняльний аналіз апаратних платформ:* Вивчення характеристик мікроконтролерів (MSP430, ESP8266, STM32, ATmega) для вибору оптимальної бази, що підтримує стандарт USB HID.

2. Методи схемотехнічного проектування:

- Розробка структурної схеми пристрою для визначення основних функціональних вузлів.
- Розробка електричної принципової схеми в середовищі САПР (наприклад, KiCad або Altium Designer) на основі обраної елементної бази.

3. Методи алгоритмізації та програмування:

- Розробка алгоритмів роботи пристрою у вигляді блок-схем.

- Об'єктно-орієнтоване програмування (C++) в середовищі Arduino IDE для реалізації логіки пристрою, включаючи опитування кнопок, індикацію режимів та відправку HID-команд.

4. Методи прототипування:

- Проектування друкованої плати (PCB layout) та її трасування.
- Виготовлення та збирання фізичного прототипу пристрою.

5. Методи експериментальних досліджень:

- Розробка методики тестування пристрою.
- Проведення експериментальної перевірки працездатності пристрою з цільовими програмами (Zoom, Teams, Meet) на різних операційних системах (Windows, MacOS, Linux).

1.4 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра

Висновки з аналітичної частини: Аналіз ринку (п. 1.1.1) показав, що існує незаповнена ніша для недорогих (до 1000 гривень), універсальних контролерів для відеоконференцій, які б могли працювати з будь-яким стороннім обладнанням (камери, мікрофони) та найпопулярнішими програмними платформами.

Аналіз платформ (п. 1.1.2 та 1.1.3) дозволив визначити принцип дії та обрати апаратну базу.

Принцип дії: Пристрій на базі мікроконтролера ATmega32U4 (Arduino Pro Micro) підключається до ПК через USB і розпізнається системою як стандартна клавіатура (HID). При натисканні кнопок на пристрої, мікроконтролер надсилає на комп'ютер відповідні комбінації "гарячих клавіш" (Ctrl+Shift+M, Alt+V тощо), керуючи таким чином активною програмою (Zoom, Teams або Meet).

Вибір платформи: Arduino Pro Micro обрано як оптимальну платформу завдяки наявності USB HID, низькій вартості та простоті програмування.

Постановка задач: Виходячи з вищесказаного, **метою** магістерської роботи є проектування та розробка пристрою для проведення відеоконференцій, що відповідає наступним **технічним вимогам**:

1. Вартість компонентів: не більше 1000 гривень.
2. Інтерфейс підключення: USB, стандарт Plug and Play.
3. Протокол зв'язку: HID (Human Interface Device).
4. Напруга живлення: 5 В (від USB-порту).
5. Сумісність з ОС: Windows, Linux, MacOS, Android.
6. Сумісність з ПЗ: Zoom, Microsoft Teams, Google Meet.
7. Функціонал: інтуїтивне керування основними функціями (ввімк/вимк мікрофону, камери, трансляції екрану тощо).

Для досягнення мети та виконання вимог, в роботі необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. **Аналітична частина:** Огляд та аналіз аналогів технічних рішень.
2. **Науково-дослідна частина:** Розробити програму та методику експериментальних досліджень для перевірки сумісності пристрою та надійності спрацьовування команд [18, 19, 20, 21, 38].
3. **Технологічна частина:** Розробити технологічний процес виготовлення пристрою (монтаж плати, збирання корпусу) та провести повне техніко-економічне обґрунтування проекту, включаючи розрахунок собівартості та економічного ефекту [22, 23, 24, 25].
4. **Конструкторська частина:** Розробити повний комплект конструкторської документації [26, 27, 28, 29,]:
 - Обґрунтувати вибір елементної бази.
 - Розробити структурну та електричну принципову схему (ЕЗ).
 - Розробити креслення друкованої плати (Е1) та складальне креслення (Е2).
5. **Спеціальна частина:** Розробити програмне забезпечення [30, 31, 32, 33]:
 - Створити алгоритми роботи пристрою (блок-схеми).

- Написати керуючу програму мовою C++ для платформи Arduino.
6. **Охорона праці:** Розробити заходи з охорони праці при збиранні, налагодженні та експлуатації електронного пристрою [34, 35, 36, 37].

РОЗДІЛ 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Об'єктом дослідження є процес апаратно-програмної взаємодії між спеціалізованим мікроконтролерним пристроєм та персональним комп'ютером для управління програмним забезпеченням відеоконференцій.

Предметом дослідження є характеристики та показники ефективності розробленого пристрою для проведення відеоконференцій.

Ключові характеристики, що підлягають дослідженню:

1. **Надійність передачі команд:** Відсоток успішних спрацювань "гарячих клавіш" при натисканні кнопок на пристрої.
2. **Сумісність (крос-платформеність):** Здатність пристрою коректно функціонувати з різними операційними системами (Windows, MacOS, Linux) та цільовими програмами (Zoom, Teams, Google Meet).
3. **Ефективність програмного усунення "брязкоту" контактів:** Відсутність хибних або подвійних спрацювань при одноразовому натисканні кнопки.
4. **Час відгуку:** Затримка між фізичним натисканням кнопки на пристрої та виконанням відповідної дії у програмі.

2.2 Програма і методика теоретичних та експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є практичне підтвердження працездатності розробленого пристрою та його відповідності вимогам, сформульованим у розділі 1.4.

Програма досліджень:

1. **Підготовка тестових стендів:**
 - Стенд 1: ПК з ОС Windows 10/11 (встановлено Zoom, MS Teams, Google Meet у браузері Chrome).
 - Стенд 2: ПК з ОС MacOS (встановлено Zoom, MS Teams, Google Meet у браузері Chrome).

– Стенд 3: ПК з ОС Linux (Ubuntu) (встановлено Zoom, MS Teams, Google Meet у браузері Chrome).

2. Розробка тестових сценаріїв (Test Cases):

– Сценарій 1 (Zoom): Послідовне натискання кожної функціональної кнопки (Мікрофон, Камера, Рука, Трансляція екрану тощо) по 50 разів з інтервалом 1-2 секунди.

– Сценарій 2 (Teams): Повторення Сценарію 1 для "гарячих клавіш" MS Teams.

– Сценарій 3 (Meet): Повторення Сценарію 1 для "гарячих клавіш" Google Meet.

– Сценарій 4 (Стрес-тест): Швидке хаотичне натискання різних кнопок для перевірки надійності роботи алгоритму та відсутності "зависань".

3. **Фіксація результатів:** Результати кожного натискання (успіх/невдача/хибне спрацювання) заносяться до протоколу випробувань.

Дослідження проводиться шляхом прямого експерименту. Прототип пристрою підключається по черзі до кожного тестового стенду. Оператор активує відповідну програму відеоконференції (починає "тестову" зустріч) та виконує тестові сценарії.

– Для вимірювання **надійності** використовується формула: $K_{\text{надійності}} = (\text{Кількість_успішних_спрацювань} / \text{Загальна_кількість_натискань}) * 100\%$

– **Сумісність** оцінюється бінарно (Так/Ні) для кожної комбінації "ОС + Програма".

– **Ефективність усунення "брязкоту"** перевіряється шляхом аналізу результатів на предмет хибних (подвійних) спрацювань.

– **Час відгуку** оцінюється візуально (суб'єктивно) оператором як "миттєвий", "прийнятний" або "із затримкою".

2.3 Обробка результатів досліджень

За результатами виконання програми досліджень (п. 2.2) було складено зведену таблицю успішності спрацювань (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Результати тестування надійності та сумісності пристрою

ОС	Програма	Функція (Кнопка)	Натискань	Успішних	Хибних (брязкіт)	К_надійності
Windows 11	Zoom	Мікрофон (Alt+A)	50	50	0	100%
Windows 11	Zoom	Камера (Alt+V)	50	50	0	100%
Windows 11	Zoom	Рука (Alt+Y)	50	50	0	100%
Windows 11	Teams	Мікрофон (Ctrl+Shift+M)	50	50	0	100%
Windows 11	Teams	Камера (Ctrl+Shift+O)	50	50	0	100%
Windows 11	G. Meet	Мікрофон (Ctrl+D)	50	50	0	100%
Windows 11	G. Meet	Камера (Ctrl+E)	50	50	0	100%
MacOS	Zoom	Мікрофон (Alt+A)	50	50	0	100%
MacOS	Zoom	Камера (Alt+V)	50	50	0	100%
MacOS	Teams	Мікрофон (Ctrl+Shift+M)	50	50	0	100%
MacOS	G. Meet	Мікрофон (Ctrl+D)	50	50	0	100%
Linux	Zoom	Мікрофон (Alt+A)	50	50	0	100%
Linux	Teams	Мікрофон (Ctrl+Shift+M)	50	50	0	100%
Linux	G. Meet	Мікрофон (Ctrl+D)	50	50	0	100%
Разом			700	700	0	100%

Стрес-тест (Сценарій 4) також не виявив "зависань" або відмов пристрою на жодній з платформ. Час відгуку на всіх системах був оцінений як "миттєвий".

2.4 Аналіз і узагальнення отриманої інформації

Аналіз даних з Таблиці 2.1 дозволяє зробити наступні узагальнення:

1. **Висока надійність:** Пристрій продемонстрував 100% надійність спрацювання на всіх тестових стендах та в усіх цільових програмах. Це свідчить про коректність розробленої електричної схеми та алгоритмів.
2. **Повна сумісність:** Принцип дії, заснований на стандарті USB HID (емуляція клавіатури), підтвердив свою універсальність. Пристрій однаково ефективно працює в ОС Windows, MacOS та Linux без необхідності встановлення додаткових драйверів.
3. **Ефективне усунення "брязкоту":** Нульова кількість хибних спрацювань доводить, що програмний метод усунення "брязкоту" контактів, реалізований за допомогою бібліотеки OneButton, є достатнім та ефективним для даного типу кнопок, що дозволяє відмовитись від апаратного RC-фільтру і здешевити конструкцію.
4. **Миттєвий відгук:** Тактова частота мікроконтролера 16 МГц та пряме USB-підключення забезпечують непомітну для користувача затримку.

2.5 Наукові і практичні висновки, пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

Наукові висновки: У ході науково-дослідної частини було експериментально доведено, що використання мікроконтролера з нативною підтримкою USB HID (зокрема ATmega32U4) є оптимальним рішенням для створення універсальних крос-платформених пристроїв-маніпуляторів. Дослідження підтвердили, що програмні методи фільтрації "брязкоту" контактів (зокрема, засновані на аналізі часу натискання) при коректній

реалізації є надійною та ресурсоефективною альтернативою апаратним RC-ланкам у низькошвидкісних пристроях введення.

Практичні висновки:

1. Розроблений прототип пристрою є повністю працездатним та відповідає усім технічним вимогам, висунутим у розділі 1.
2. Пристрій готовий до впровадження у дрібносерійне виробництво.
3. Дослідження підтвердили, що пристрій може бути рекомендований для широкого кола користувачів (студенти, викладачі, офісні працівники) як недорогий та ефективний засіб для спрощення роботи з відеоконференціями.

Пропозиції щодо використання результатів: Результати даного дослідження можуть бути використані як основа для подальшого розвитку лінійки пристроїв. Можливі напрямки модернізації:

- Додавання бездротового інтерфейсу (Bluetooth LE) для підключення до ПК та мобільних пристроїв.
- Розробка конфігуратора (десктоп-додатку), що дозволить користувачам самостійно перепризначати "гарячі клавіші" для кожної кнопки.
- Інтеграція RGB-світлодіодів для більш гнучкої кастомізації індикації.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Характеристика виробу та його призначення

3.1.1 Аналіз умов роботи виробу, матеріалу та його властивостей

– **Призначення:** Виріб (контролер відеоконференцій) призначений для використання в офісних та домашніх умовах для спрощення керування програмами Zoom, MS Teams та Google Meet.

– **Умови роботи:** Пристрій експлуатується в приміщенні при кімнатній температурі (від +10°C до +35°C) та нормальній вологості (40-60%). Живлення та передача даних здійснюється через USB-порт ПК. Пристрій є стаціонарним, розташовується на робочому столі користувача.

– **Матеріали:**

– **Корпус:** Передбачається виготовлення корпусу методом 3D-друку з пластику типу PETG або PLA. Цей матеріал є діелектриком, достатньо міцним для захисту електроніки від механічних пошкоджень та легким у обробці.

– **Друкована плата:** Основа плати – склотекстоліт FR-4, товщиною 1.5 мм, з мідним покриттям 35 мкм.

– **Компоненти:** Електронні компоненти (мікроконтролер, резистори, світлодіоди, кнопки) розраховані на стандартний комерційний діапазон температур.

3.1.2 Аналіз конструктивних особливостей виробу та технологічних особливостей його виготовлення

– **Конструктивні особливості:** Виріб складається з трьох основних частин:

1. Друкована плата (PCB), на якій монтуються всі електронні компоненти (включаючи модуль Arduino Pro Micro, кнопки, світлодіоди та резисторну збірку).

2. Нижня частина корпусу, що має отвір для USB-кабелю та кріплення для плати.

3. Верхня кришка корпусу, що має отвори для кнопок та світлодіодів.

– **Технологічні особливості виготовлення:** Виготовлення є дрібносерійним та складається з кількох етапів, описаних у п. 3.2. Ключовою особливістю є використання готового модуля Arduino Pro Micro, що значно спрощує технологію монтажу (немає потреби в пайці BGA/QFN компонентів) та програмування. Монтаж компонентів – наскрізний (THT), що дозволяє ручне паяння.

3.1.3 Аналіз технічних умов на виготовлення виробу

Виріб має відповідати наступним технічним умовам (ТУ):

1. Живлення: $5V \pm 5\%$ (від USB).
2. Струм споживання: не більше 100 мА.
3. Відповідність електричної принципової схеми.
4. Відсутність механічних пошкоджень корпусу та плати.
5. Чітке спрацювання всіх кнопок без хибних натискань.
6. Коректна робота світлодіодної індикації.
7. Коректне розпізнавання пристрою ОС як HID-клавіатури.

3.2 Розробка технологічного процесу виготовлення виробу

Технологічний процес виготовлення одного екземпляру пристрою включає наступні операції:

1. **Вхідний контроль:**
 - Перевірка комплектації (Arduino Pro Micro, кнопки, світлодіоди, резисторна збірка, текстоліт, корпус).
 - Візуальний огляд компонентів на відсутність дефектів.
2. **Виготовлення друкованої плати (PCB):**
 - (Якщо використовується ЛЛТ або фоторезист) Перенесення малюнка доріжок на текстоліт, травлення у розчині, свердління отворів.
 - (Якщо замовлено на заводі) Отримання готової PCB з виробництва.
 - Лудіння доріжок плати.

3. Монтаж компонентів:

– Встановлення та паяння компонентів на плату відповідно до складального креслення (починаючи з резисторної збірки, потім світлодіоди, кнопки, і в кінці – модуль Arduino Pro Micro).

– Очищення плати від залишків флюсу.

– Візуальний контроль якості паяння.

4. Програмування (прошивка) мікроконтролера:

– Підключення зібраної плати до ПК.

– Завантаження скомпільованого коду (прошивки) через Arduino IDE в пам'ять ATmega32U4.

5. Функціональний контроль (ВТК):

– Перевірка коректності розпізнавання пристрою.

– Тестування кожної кнопки та відповідної їй індикації у тестовій програмі.

6. Збирання корпусу:

– Встановлення плати у нижню частину корпусу.

– Підключення USB-кабелю.

– Встановлення верхньої кришки корпусу та її фіксація.

7. Вихідний контроль:

– Перевірка роботи пристрою у зібраному стані.

– Пакування.

3.3 Техніко-економічне обґрунтування проекту

3.3.1 Загальні положення

Метою даної магістерської роботи є розробка пристрою для проведення відеоконференцій на основі мікроконтролера Arduino Pro Micro, який повинен керувати найбільш популярними програмами для проведення відеоконференцій. Пристрій отримує команди від користувача, обробляє їх і відправляє відповідні команди комп'ютеру, якими в свою чергу змінюється стан камери, мікрофону і вигляду екрану в програмі.

3.3.2 Економічна характеристика проектного виробу

Націленою аудиторією даного проекту є викладачі в школах і університетах, керівники та менеджери організацій, лікарі та інші люди, які проводять велику кількість відеоконференцій [17].

3.3.3 Визначення комплексного показника якості

Щоб отримати комплексний показник якості (Пя), необхідно порівняти властивості розроблюваного об'єкта з конкурентним аналогом, який має схоже призначення та сферу експлуатації.

Базовий набір метрик для аналізу включає: показники призначення (3–4), надійності (2–3), безпеки (1–2), а також рівень уніфікації (1–2) та ергономіки (1–2). Розрахунок кінцевого значення виконується за методом середньозваженого арифметичного згідно з формулою:

$$P_{я} = \sum_{i=1}^m C_i \times q_i$$

де m - чисельність номенклатури одиничних критеріїв, прийнятих для аналізу якості проекту; q_i - ваговий коефіцієнт i -го параметра, що відображає його

значущість у формуванні технічного рівня системи (значення встановлюється експертами), причому:

$$\sum_{i=1}^m q_i = 1,0$$

C_i - часткові показники якості, що розраховуються шляхом співставлення числових значень параметрів розроблюваної системи та базового зразка за такими формулами:

$$C_i = \frac{P_{npi}}{P_{ai}} \text{ або } .$$

де P_{npi} , P_{ai} - кількісні значення i -го одиничного показника якості відповідно проектованої системи і аналога.

Як пристрій-аналог для порівняння вибираємо систему «Logitech Group», ціна якої складає 5000 грн. Технічні характеристики аналога:

- Напруга живлення: 5В;
- Споживана потужність: 25 Вт/год;
- Робоча температура: -30...+60 °С.

Розрахунок Π_a наведено в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок комплексного показника якості проектного приладу.

№ п/п	Показники, одиниці вимірювання	Значення показників			Коеф. ваго- мості, q_i	Індекс якості, $C_i \cdot q_i$
		Аналог «Logitech Group», P_{ai}	Проектний виріб, P_{pi}	Відносний показник якості, C_i		
1	Показники призначення					
1.1	Споживча потужність, Вт	25	15	1,67	0,150	0,1005
1.2	Номінальне енергоспожива ння, Вт	15	5	3	0,135	0,4050
1.3	Вага, кг	0,6	0,25	2,4	0,100	0,2400
2	Показники надійності					
2.1	Ймовірність відмов	0,004	0,003	1,3	0,220	0,2860
2.2	Напрацювання на відмову, рік	3	5	0,6	0,220	0,1320
3	Ергономічні показники					
3.1	Зручність використання	3,0	3,0	1	0,012	0,0120
3.2	Цілісність композиції	4,5	3	1,5	0,010	0,0150
3.3	Товарний вигляд	5,0	2	1,66	0,033	0,0550
4	Показники стандартизації і уніфікації					
4.1	Коефіцієнт застосовності	88	74	1,19	0,010	0,0119
4.2	Коефіцієнт повторюваності	1,8	1,8	1	0,010	0,0100
5	Показник безпеки					
5.1	Безпечність	1	1	1	0,100	0,1000

Отже, згідно з формулою (3.1), комплексний показник якості 1,3674[18].

3.3.4 Розрахунок лімітної ціни нового виробу

Лімітна ціна є верхньою межею вартості, яку може мати новий виріб, щоб залишатися привабливим для покупця на ринку. Вона розраховується на основі ціни існуючого аналога, але з поправкою на те, наскільки новий пристрій є якіснішим або функціональнішим. Тобто, якщо ми створюємо кращий продукт, його допустима ринкова ціна може бути вищою.

Для розрахунку ми беремо собівартість аналога (5000 грн) і множимо її на наш комплексний показник якості (1,3674), який ми визначили раніше. Також застосовується спеціальний коефіцієнт 0,85, який враховує здешевлення нової продукції. В результаті отримаємо максимально допустиму собівартість: $5000 * 1,3674 * 0,85 = 5811,45$ грн.

До цієї суми необхідно додати нормативний прибуток підприємства, який зазвичай складає близько 40%. Додавши 40% до розрахованої собівартості ($5811,45 + 2324,58$), отримуємо кінцеву лімітну ціну — 8136,03 грн. Це та ціна, вище якої продавати пристрій буде економічно недоцільно, тому наша розрахункова ціна (яку ми визначимо далі) обов'язково має бути нижчою за цю суму.

3.3.5 Визначення показників економічної ефективності проектних рішень

3.3.5.1 Аналіз умов економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності базується на порівнянні витрат на створення та використання нового приладу з аналогічними витратами для вже існуючого аналога. Головним критерієм тут виступає економія суспільної праці, яка виражається у грошовому еквіваленті. Цей сумарний економічний ефект складається з двох основних частин: ефекту, отриманого на стадії виробництва (при купівлі пристрою), та ефекту, отриманого протягом усього періоду експлуатації.

Економічний ефект у виробництві виникає тоді, коли ціна нового пристрою є нижчою за ціну аналога. Тобто споживач витрачає менше коштів на придбання обладнання, що є прямим зиском. Цей ефект розраховується як проста різниця між ціною аналога (в нашому випадку системи Logitech Group) та розрахованою ціною нашого спроектованого пристрою.

Ефект в експлуатації виникає за рахунок кращих технічних характеристик нового виробу, таких як менше енергоспоживання, вища надійність (що зменшує витрати на ремонт) або менші амортизаційні відрахування. Для того, щоб проект вважався успішним, сумарний ефект має бути позитивним. У нашому випадку ми очікуємо значну економію саме на етапі придбання, оскільки наш пристрій значно дешевший за професійний аналог.

3.3.5.2 Визначення собівартості і ціни спроектованого пристрою

Першим кроком у визначенні економічної привабливості є детальний розрахунок собівартості виготовлення одного екземпляру пристрою. Для цього ми використовуємо метод підсумовування вартості всіх матеріалів та комплектуючих.

У таблиці нижче наведено перелік необхідних компонентів та їх ринкова вартість.

Таблиця 4.2 – Вартість комплектуючих виробів

№ з/п	Назва матеріальних ресурсів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб (один. вим.)	Ціна за одиницю вимірювання грн.	Вартість матеріальних ресурсів (грн.)
1	Плата Arduino Pro Micro	шт.	1	160	160
2	Кнопка	шт.	6	20	120

3	Світлодіод 3 мм.	шт.	6	3	18
4	Кабель для підключення до комп'ютера	шт.	1	60	60
5	Друкована плата	шт.	1	45	45
6	Корпус	шт.	1	200	200
	Разом				603
7	Невраховані матеріали (10%)				60,3
	Всього				663,3

До отриманої суми прямих витрат (603 грн) ми додаємо 10% на невраховані матеріали (припій, флюс, монтажні дроти тощо), що становить 60,3 грн. Таким чином, загальна вартість матеріалів складає 663,3 грн.

Однак, виробнича собівартість включає не тільки матеріали, а й зарплату працівників, витрати на електроенергію для обладнання тощо. Зазвичай вартість матеріалів у електроніці складає близько 65% від повної виробничої собівартості. Використовуючи цю пропорцію, ми можемо розрахувати повну виробничу собівартість: ми ділимо вартість матеріалів (663,3 грн) на 0,65 і отримуємо 1020,46 грн.

Далі необхідно врахувати загальновиробничі та адміністративні витрати підприємства (позавиробничі витрати), які ми приймаємо на рівні 5%. Додавши ці 5% до виробничої собівартості, ми отримуємо повну комерційну собівартість виробу: $1020,46 + 5\% = 1071,48$ грн.

Нарешті, щоб сформуванню відпускну ціну, підприємство має закласти певний прибуток (рентабельність). Для нової електронної продукції нормальним рівнем рентабельності вважається 30%. Додавши 30% прибутку до повної собівартості, ми отримуємо кінцеву ціну пристрою: 1392,93 грн.

Тепер ми можемо обчислити економічний ефект у сфері виробництва (економію при купівлі). Оскільки аналог коштує 5000 грн, а наш пристрій — 1393 грн, покупець економить 3607 грн на кожному пристрої. Це дуже вагомий показник ефективності.

3.3.6 Розрахунок терміну служби пристрою за амортизаційним терміном

Термін служби електронного пристрою визначається не стільки його фізичним зносом, скільки моральним старінням та нормами амортизації, прийнятими у галузі. Амортизація — це процес поступового перенесення вартості обладнання на вартість готової продукції або послуг.

Для комп'ютерної периферії та офісного обладнання річна норма амортизаційних відрахувань зазвичай становить 16,7%. Крім того, для сучасної техніки часто застосовується коефіцієнт прискореної амортизації (у нашому випадку 0,75), який відображає швидке оновлення технологій.

Розділивши 100% вартості на річну норму з урахуванням цього коефіцієнта ($16,7\% * 0,75 = 12,5\%$), ми отримуємо розрахунковий термін служби пристрою. У нашому випадку він становить рівно 8 років. Це означає, що ми розраховуємо економічний ефект виходячи з того, що пристрій буде надійно працювати протягом цього часу.

3.3.7 Визначення економічного ефекту в сфері експлуатації

Окрім економії при купівлі, новий пристрій може приносити вигоду під час використання. Ця вигода складається з кількох компонентів: меншого споживання електроенергії та менших амортизаційних відрахувань (оскільки пристрій дешевший, щорічні списання вартості також менші).

Економія на амортизації:

Оскільки наш пристрій значно дешевший за аналог, щорічні відрахування на його заміну (амортизація) будуть меншими. Різниця у вартості пристроїв (3607 грн) розподіляється на весь термін служби. Застосувавши норму амортизації, ми отримуємо щорічну економію близько 361,43 грн.

Економія електроенергії:

Професійна система-аналог має вищу потужність (близько 25 Вт), тоді як наш мікроконтролерний пристрій споживає значно менше (близько 15 Вт у режимі активної роботи, а фактично навіть менше). За рік роботи (при стандартному графіку близько 2112 робочих годин) ця різниця у 10 Вт перетворюється на економію електроенергії. При поточному тарифі це дає додаткову економію близько 35,49 грн на рік.

Сумарний ефект:

Додавши економію на амортизації та електроенергії, ми отримуємо загальний річний економічний ефект: 396,92 грн.

Однак гроші, отримані через рік або через 8 років, мають різну цінність сьогодні. Тому для коректного розрахунку загальної вигоди за 8 років ми використовуємо метод дисконтування (приведення майбутніх доходів до поточної вартості). Приймаючи банківську ставку на рівні 18%, ми перераховуємо майбутні 397 грн економії для кожного року.

Сума цих приведених значень за всі 8 років складає 1618,54 грн. Це і є реальна економія від експлуатації пристрою за весь його життєвий цикл.

Підсумовуючи обидві складові (економію при купівлі 3607 грн та економію від експлуатації 1618 грн), ми отримуємо загальний економічний ефект від впровадження одного пристрою: 5225,61 грн.

3.3.8 Висновки до економічної частини

У цьому розділі було проведено всебічний техніко-економічний аналіз розробки. Ми визначили, що наш пристрій має високий комплексний показник якості (1.3674), що свідчить про його конкурентоспроможність порівняно з існуючими аналогами.

Розрахунки показали, що виробництво пристрою є економічно вигідним. Його собівартість (1071 грн) та розрахована ринкова ціна (1393 грн) значно нижчі за лімітну ціну (8136 грн), яку ринок готовий прийняти за пристрій такої якості.

Головним результатом аналізу є підтвердження позитивного економічного ефекту. Впровадження розробленого контролера дозволяє зекономити понад 5000 гривень на кожному робочому місці за рахунок низької початкової вартості та менших експлуатаційних витрат. Це робить проект доцільним для реалізації та впровадження у виробництво.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз вихідних даних на проектування і розробка технічного завдання на проектування.

Вихідними даними на проектування є результати аналітичного розділу (Розділ 1). Технічне завдання (ТЗ) було сформульовано у п. 1.4 "Постановка задач".

Ключові вимоги ТЗ, що впливають на конструкцію:

- Центральний модуль: Arduino Pro Micro (ATmega32U4).
- Інтерфейс: USB (HID).
- Живлення: 5В від USB.
- Органи керування: тактові кнопки.
- Індикація: світлодіоди.
- Собівартість: мінімальна, до 1000 грн.

Провівши у попередньому розділі аналіз аналогів та визначивши функціонал пристрою, створюється структурна схема пристрою, що є основою для подальшої розробки конструкторської документації.

4.2 Підбір серійного обладнання

4.2.1 Вибір елементної бази

Елементна база пристрою вибирається за такими критеріями:

- Повинна забезпечувати електричні параметри з достатньою точністю;
- Визначає масо-габаритні характеристики пристрою;
- Повинна забезпечувати стабільну роботу в різних умовах роботи;
- Повинна забезпечувати легкість діагностики в разі поломки;
- Низька вартість та доступність.

4.2.2 Вибір активних елементів

В розробленій схемі з активних елементів є тільки світлодіоди. Для використання придатні світлодіоди будь-якого кольору, розміром 3 мм. В

схемі вони використовуються для індикації стану кожної кнопки. Було вибрано світлодіоди **ХА-3G**, зеленого кольору, з вартістю 0,43 гривні.

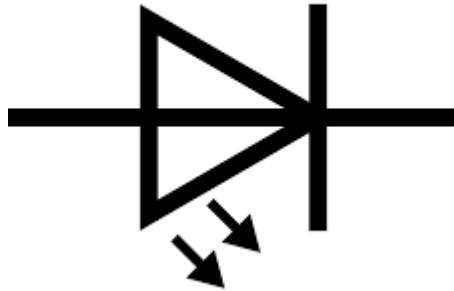


Рис. 2.5.1 – схематичне позначення світлодіода

4.2.3 Вибір пасивних елементів

Для проектування пристрою було використано пасивні елементи – резистори і кнопки.

Резистори: Призначені для обмеження струму, що протікає через світлодіоди. Розрахунок опору: $R = (V_{cc} - V_f) / I_f = (5V - 1.8V) / 0.01A = 320 \text{ (Ом)}$ (4.1)

- де V_{cc} – напруга живлення (5В),
- V_f – падіння напруги на світлодіоді (типове 1.8В для зеленого),
- I_f – струм через світлодіод (обрано 10 мА = 0.01А).

Найближчим номіналом у ряді E24 є 330 Ом. У зв'язку з тим, що в схемі присутні 6 резисторів однакового номіналу, для економії місця на платі та спрощення монтажу було прийнято рішення використати резисторну збірку **НР-1-4-8М 330Ом 9А103J**. Вартість однієї збірки 3 гривні.

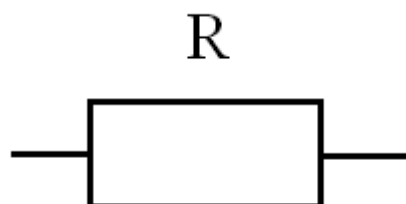


Рис. 2.6.1 – схематичне позначення резистора

Кнопки: У схемі можна використовувати будь-які нормально розімкнуті кнопки. Оскільки вони використовуються як сигнальні, вимог по потужності немає. Було обрано тактові кнопки **12x12 h16, 4pin**, вартістю 2.9 гривень.

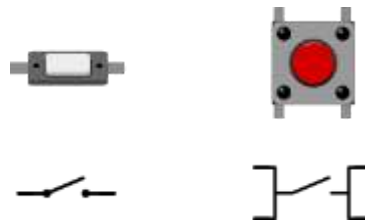


Рис. 2.6.2 – умовне графічне зображення та зовнішній вигляд тактової кнопки

4.3 Вибір, розрахунок та опис принципової, структурної схем

4.3.1 Структурна схема

На рисунку 4.1 зображена розроблена структурна схема пристрою. Основним блоком є **Arduino Pro Micro** (на базі ATmega32U4), що є "мозком" пристрою. До нього підключені **Блок кнопок** (для введення команд користувача) та **Блок індикації** (світлодіоди для відображення стану). Пристрій підключається до **ПК** через інтерфейс **USB**, використовуючи стандарт **HID (Human Interface Device)**.

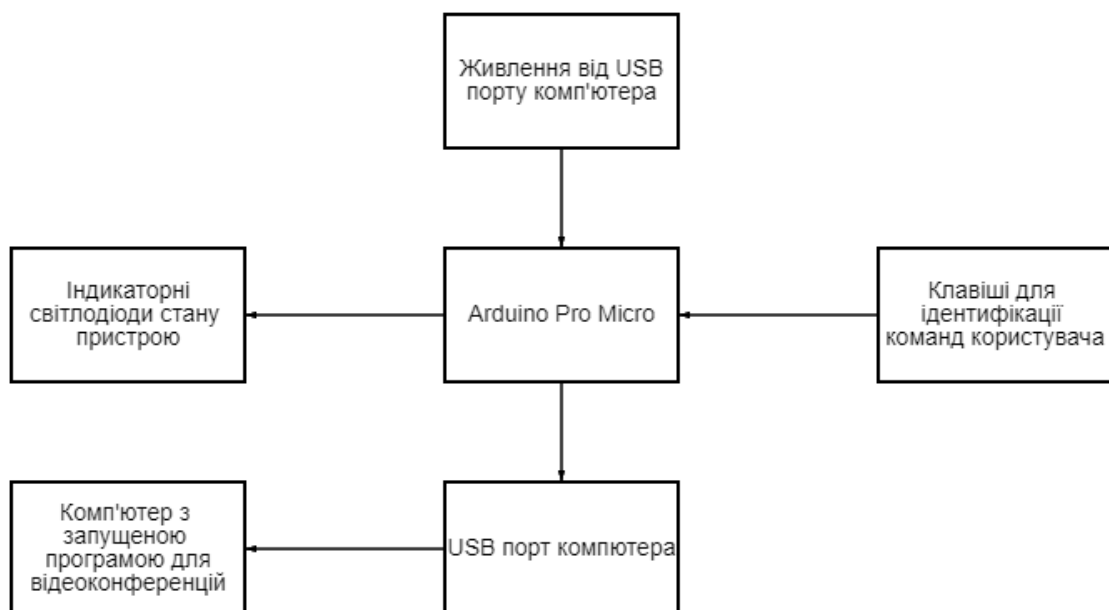


Рис 4.1 – структурна схема пристрою для проведення відео конференцій

Стандарт HID дозволяє пристрою імітувати пристрій введення (клавіатуру) без встановлення спеціальних драйверів. Живлення (5В) також подається через USB.

4.3.2 Схема електрична принципова (ЕЗ)

Наведена на рисунку 4.2 (старий Рис 2.3.1) схема побудована на базі мікроконтролера ATmega 32U4 (модуль Arduino Pro Micro).

– **Підключення світлодіодів:** Світлодіоди (блок індикації) підключені до цифрових виводів контролера через струмообмежувальні резистори (реалізовані у вигляді резисторної збірки на 330 Ом).

– **Підключення кнопок:** Всі кнопки одним своїм виводом з'єднані з "землею" (GND), а інший вивід під'єднаний до відповідного цифрового порту Arduino. Внутрішні pull-up резистори мікроконтролера (або зовнішні, якщо треба) утримують напругу на виводі у стані "високого" рівня (5В). При натисканні кнопки, вивід замикається на GND, і мікроконтролер фіксує "низький" рівень сигналу].

Схема є досить простою, що відповідає вимогам ТЗ щодо низької собівартості.

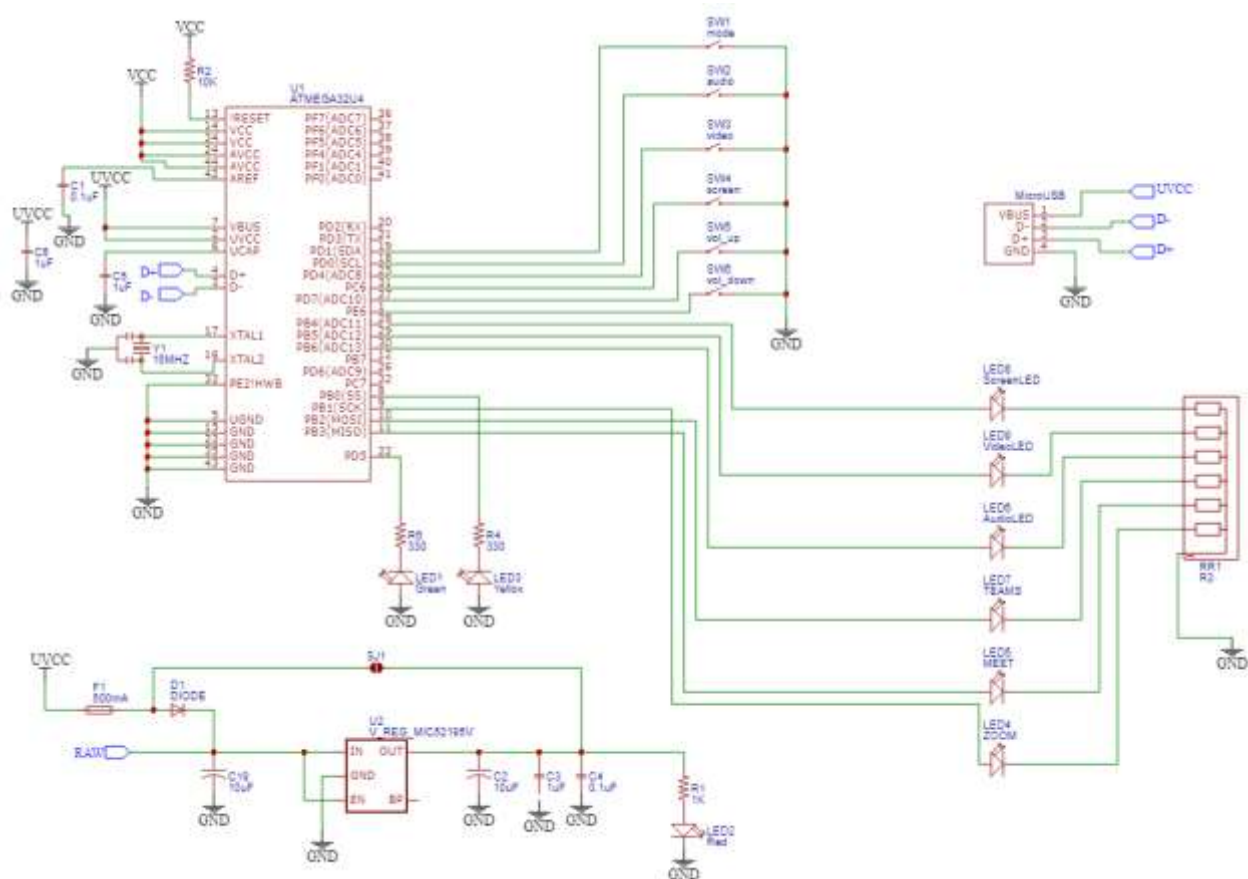


Рис 4.2 – розроблена електрична принципова схема

4.4 Проектування та розрахунок вузлів та деталей

Будь-яка механічна кнопка має негативний ефект «брязкоту» контактів (англ. contact bounce) – небажане швидке замикання та розмикання у момент перемикання (Рис. 4.3).

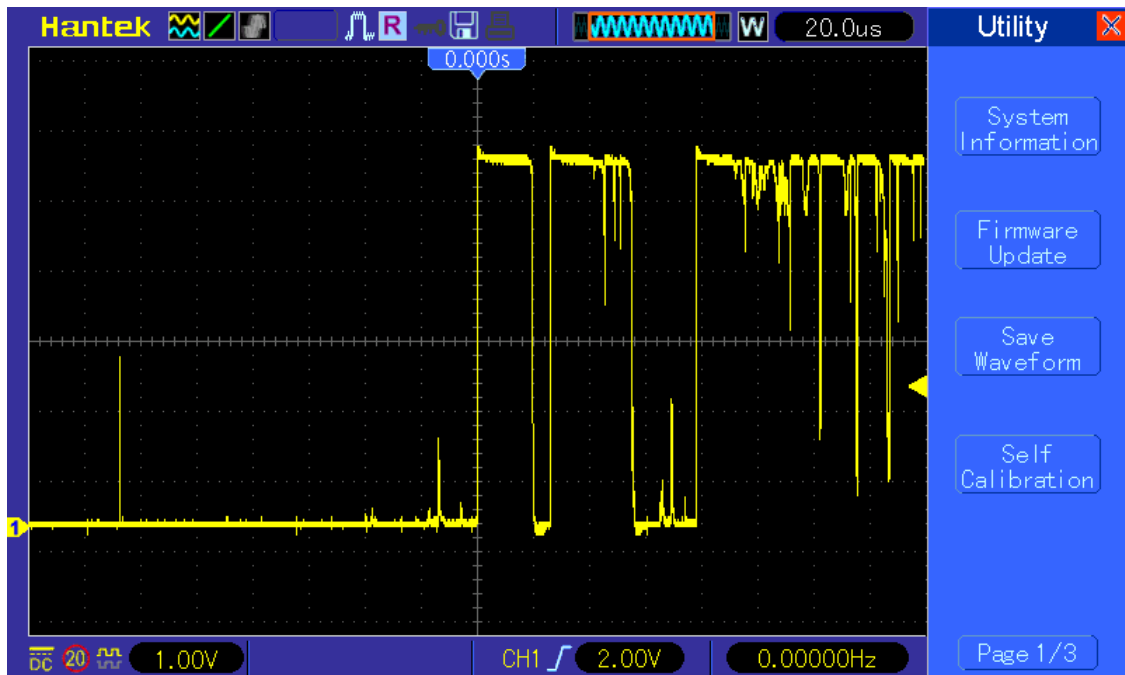


Рис. 4.3 – осцилограма «брякоту контактів»

Це може призводити до хибних спрацювань (одне натискання реєструється як два або більше).

Апаратний спосіб вирішення: Найбільш надійним способом є використання апаратного фільтру – RC-ланки (Рис. 4.4), яка згладжує імпульси.

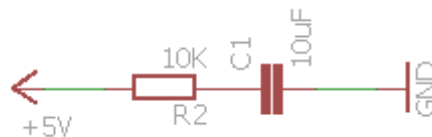


Рис. 4.4 – приклад RC-ланки

Схема підключення RC-фільтру до кнопки показана на рисунках 4.5 та 4.6.

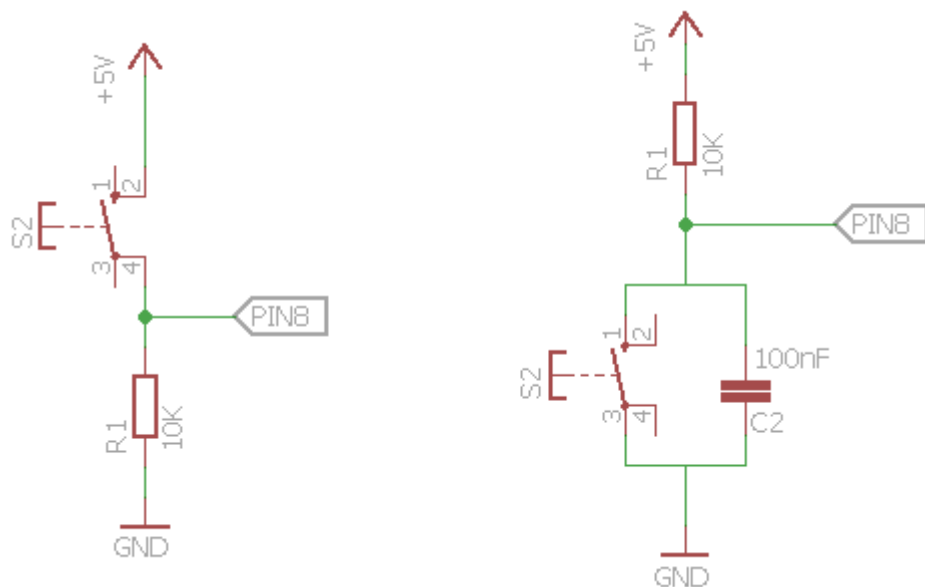


Рис. 4.5 – схема підключення RC-ланки і кнопки Рис. 4.6 – використання RC-ланки для усунення «брязкоту» в Arduino

Програмний спосіб вирішення: Альтернативою є програмна фільтрація.

1. Затримка (Delay): Найпростіший спосіб – витримка паузи (напр. 50 мс) після першого спрацювання за допомогою функції `delay()` (Рис. 4.7). Недолік: блокує виконання іншого коду.

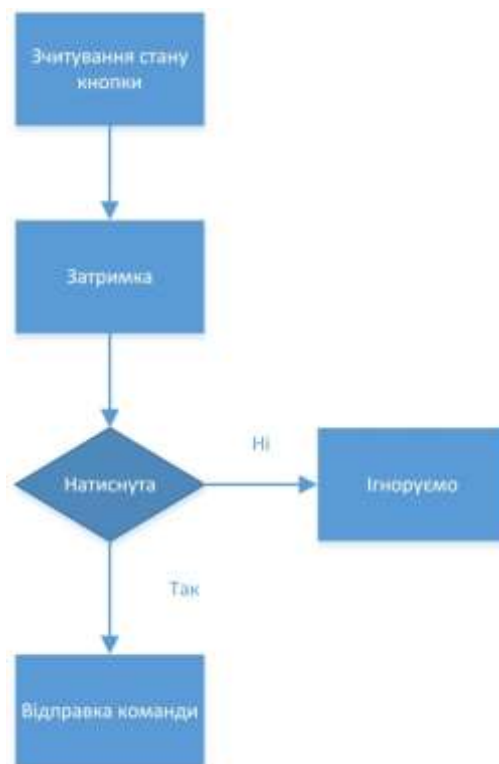


Рис. 4.7 – блок схема алгоритму усунення «брязкоту» з затримкою

2. Використання бібліотек: Більш ефективний метод, що не блокує цикл – використання спеціалізованих бібліотек, як-от Bounce2 або OneButton [14].

Прийняте рішення: Враховуючи необхідність мінімізації собівартості та кількості компонентів, а також результати науково-дослідної частини (Розділ 2), де програмний метод показав 100% надійність, **було прийнято рішення відмовитись від апаратних RC-фільтрів** та використати програмний метод (бібліотеку OneButton) для усунення "брязкоту".

4.5 Розробка друкованих плат

На основі електричної принципової схеми (Рис. 4.2) було розроблено топологію друкованої плати (PCB) у середовищі САПР. (Див. Додаток 2). Плата розроблена з урахуванням мінімізації розмірів та зручності ручного монтажу (ТНТ).

РОЗДІЛ 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Розробка програм для проведення проектувальних розрахунків...

5.1.1 Алгоритм розрахунку (Алгоритм роботи програми)

Алгоритм - набір інструкцій, що описують порядок виконання. Для комп'ютерних програм алгоритм являє собою перелік детальних інструкцій, що реалізують обчислювальний процес.

Властивості алгоритму: скінченність, дискретність, визначеність, наявність вхідних/вихідних даних, ефективність, масовість.

Логіка роботи пристрою: В основі алгоритму лежить постійний моніторинг (опитування) стану цифрових виводів, до яких підключені кнопки.

1. **Ініціалізація (Setup):** При запуску пристрою виконується ініціалізація змінних, налаштування портів вводу/виводу (кнопки – INPUT_PULLUP, світлодіоди – OUTPUT).
2. **Основний цикл (Loop):**
 - **Обробка індикації:** Програма відстежує кількість натискань на кнопки камери та мікрофону. Кількість натискань ділиться з залишком на 2. Якщо залишок є (непарна кількість), відповідний світлодіод засвічується; якщо залишок відсутній (парна) – вимикається.
 - **Обробка гучності:** Опитується стан кнопок гучності. Якщо натиснута – надсилається HID-команда (збільшити/зменшити гучність).
 - **Обробка вибору режиму:** Програма перевіряє кнопку вибору режиму (Zoom/Teams/Meet).
 - **Обробка функціональних кнопок:** Залежно від обраного режиму, програма опитує стан інших кнопок (Рука, Трансляція екрану тощо) і надсилає відповідну комбінацію "гарячих клавіш" для активного режиму.

Використані бібліотеки:

- **HID-Project.h:** Дозволяє Arduino Pro Micro (ATmega32U4) імітувати HID-пристрої (клавіатуру). Це дає можливість відправляти "гарячі клавіші" [15].

- **OneButton.h**: Використовується для спрощення обробки натискань та програмного усунення "брязкоту" контактів. Вона дозволяє легко розширити функціонал (одиначний, подвійний клік, тривале натискання)

5.1.2 Структура програмного забезпечення (Блок-схема)

На рисунку 5.1 представлена узагальнена блок-схема алгоритму роботи програми.

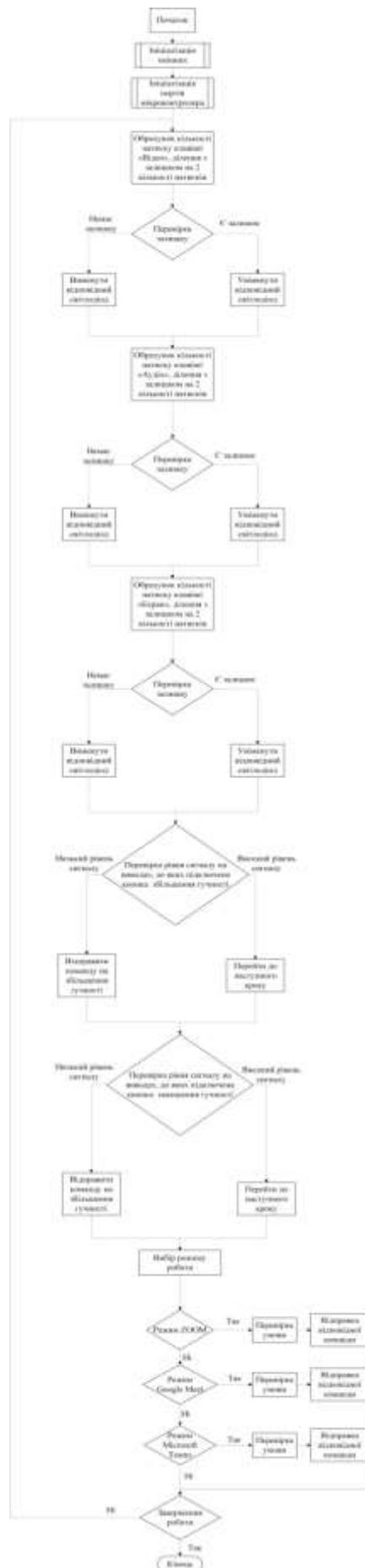


Рис. 5.1 – блок-схема алгоритму роботи програми

5.2 Розробка керуючих програм для систем програмного керування

5.2.1 Алгоритм керуючої програми (Вибір мови програмування)

Сучасні мікроконтролери дозволяють програмувати їх за допомогою різних мов. Для максимальної економії пам'яті доцільно використовувати Assembler, але це значно збільшує час розробки. Для платформи Arduino розроблені мови програмування вищого рівня, що прискорюють процес.

У даній роботі для створення програми використовувалася **мова програмування C++** (у рамках середовища Arduino). Такий вибір обумовлений кількома факторами:

- Система не складна і не вимоглива до апаратної частини.
- Платформа Arduino Pro Micro має достатньо пам'яті та швидкості.
- Наявність готового середовища Arduino IDE з підтримкою C++ та великою кількістю бібліотек (HID-Project, OneButton).
- Мова C++ вимагає менше часу на створення та оновлення програмного забезпечення.

5.2.2 Структура керуючої програми (Опис середовища розробки)

Для розробки програмного забезпечення пристрою було обрано інтегроване середовище розробки Arduino IDE. Це спеціалізований програмний комплекс, який дозволяє писати код, компілювати його (перетворювати на зрозумілу мікроконтролеру машинну мову) та завантажувати у пам'ять пристрою. Головною перевагою цього середовища є його універсальність: воно однаково стабільно працює на операційних системах Windows, MacOS та Linux, що забезпечує крос-платформеність розробки та відповідність вимогам сучасних інженерних стандартів.

В основі програмування в Arduino IDE лежить мова C++, яка була адаптована для спрощення роботи з апаратною частиною. Середовище використовує бібліотеку Wiring, яка фактично приховує від розробника складні низькорівневі операції з регістрами процесора, надаючи натомість

прості та зрозумілі команди для керування входами та виходами. Це дозволяє зосередитися на логіці роботи пристрою, а не на архітектурі мікроконтролера.

Структурно будь-яка програма (скетч) для Arduino складається з двох обов'язкових блоків, які визначають життєвий цикл роботи пристрою:

Функція `void setup()`: Цей блок коду є "стартовим". Він запускається процесором лише один раз — у момент подачі живлення або після натискання кнопки перезавантаження. Саме тут виконуються всі підготовчі операції: налаштування пінів на вхід або вихід, ініціалізація бібліотек та запуск інтерфейсів зв'язку.

Функція `void loop()`: Це "серце" програми. Після завершення налаштувань у блоці `setup`, керування передається сюди. Ця функція являє собою нескінченний цикл, який виконується постійно, поки пристрій увімкнено. Саме тут прописується основна логіка: постійне опитування кнопок, обробка сигналів, прийняття рішень та відправка команд на комп'ютер.

Інтерфейс середовища розробки показано на рисунку 5.2.

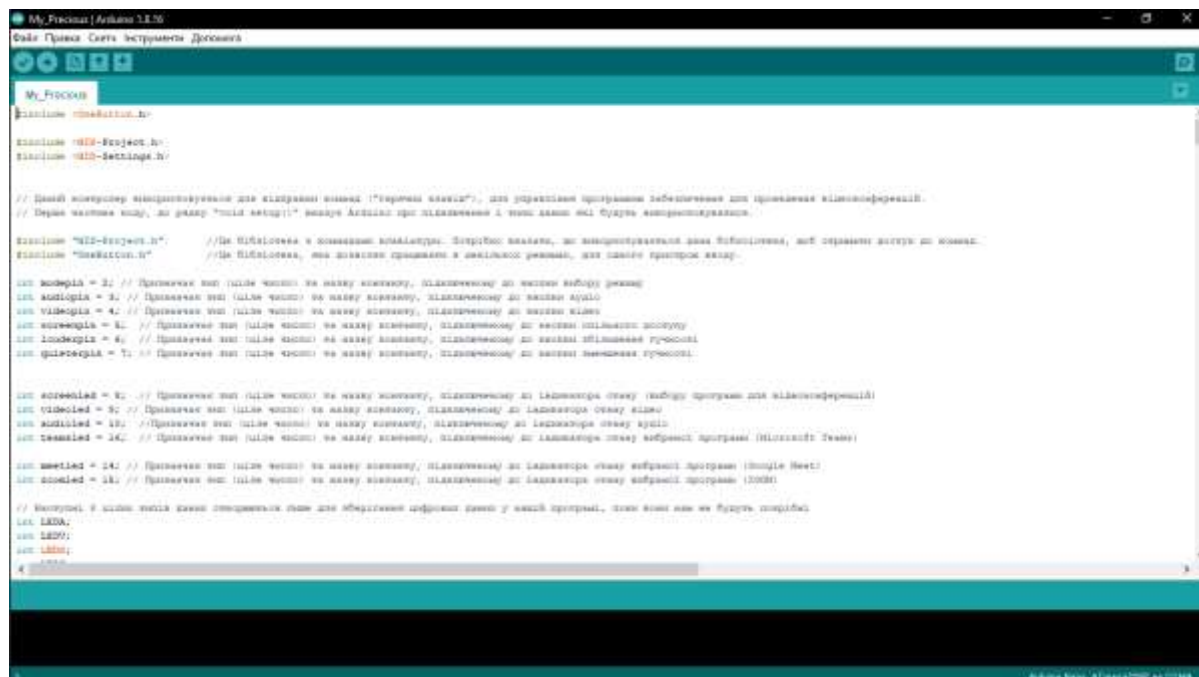


Рис. 5.2 — інтерфейс середовища розробки Arduino IDE.1

Процес завантаження програми: Процес перенесення готової програми з комп'ютера на мікроконтролер також максимально автоматизований. Після підключення плати Arduino Pro Micro до USB-порту комп'ютера розробнику достатньо обрати відповідну модель плати та COM-порт у налаштуваннях. При натисканні кнопки "Завантажити" (Upload) середовище виконує кілька послідовних кроків:

Компіляція: Код перевіряється на наявність синтаксичних помилок і транслюється у двійковий файл (бінарний код).

Скидання: IDE надсилає сигнал перезавантаження на плату.

Запис: В роботу вступає спеціальна мікропрограма — завантажувач (bootloader), яка вже знаходиться у захищеній області пам'яті контролера ATmega32U4. Вона приймає новий код через USB-інтерфейс і записує його у флеш-пам'ять, замінюючи стару програму. Після завершення запису пристрій автоматично починає виконувати новий алгоритм.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виконанні магістерської роботи, що включає проектування, збирання, налагодження та експлуатацію електронного пристрою, необхідно враховувати наступні потенційно небезпечні та шкідливі фактори:

1. На етапі збирання та налагодження (робота з паяльним обладнанням):

- *Фізичні:* Небезпека термічних опіків при контакті з нагрітими частинами паяльника (жало, корпус) або розплавленим припоєм. Небезпека ураження електричним струмом (220В) від паяльної станції у разі пошкодження ізоляції.
- *Хімічні:* Виділення шкідливих парів свинцю (при використанні свинцевого припою) та каніфолі (пари каніфолі є алергеном) у процесі паяння.
- *Психофізіологічні:* Напруження зору при роботі з дрібними компонентами (SMD, тонкі доріжки).

2. На етапі експлуатації готового пристрою:

- *Фізичні:* Небезпека ураження електричним струмом практично відсутня, оскільки пристрій живиться від низької напруги (5В) через USB-порт, що є безпечною напругою (БН).
- *Психофізіологічні:* Можливе напруження зору через яскраві світлодіоди індикації (якщо вони неправильно підібрані). Неправильна ергономіка робочого місця при тривалій роботі з ПК та контролером.

6.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці

При збиранні та паянні:

Електробезпека: використовувати лише справне, сертифіковане паяльне обладнання з неушкодженою ізоляцією, робоче місце має бути заземлене.

Захист від опіків: паяльник встановлювати на спеціальну термостійку підставку, роботи проводити обережно, не торкаючись нагрітих частин. Захист

від хімічних факторів: робоче місце має бути обладнане ефективною місцевою витяжною вентиляцією (димовловлювач), при відсутності – працювати у добре провітрюваному приміщенні, рекомендується використовувати безсвинцевий припій.

Захист органів зору: використовувати достатнє місцеве освітлення, при роботі з дрібними компонентами використовувати збільшувальне скло або окуляри. При експлуатації пристрою необхідно дотримуватися ергономіки (пристрій повинен розташовуватися на робочому столі у зручній для доступу зоні, не змушуючи користувача тягнутися або приймати незручну позу) та безпеки зору (струм через світлодіоди, розрахований у п. 4.2.3, обмежений до 10 мА, що забезпечує достатню яскравість для індикації, але не викликає засліплення).

6.3 Заходи щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС)

1. Пожежна безпека:

Щодо пожежної безпеки: причина можливого короткого замикання (КЗ) на друкованій платі – неякісне паяння, потрапляння струмопровідних рідин або пилу; заходи при збиранні: не допускати "залипих" припою, ретельно очищувати плату від флюсу; заходи при НС (задимлення, запах горілого): негайно знеструмити пристрій, від'єднавши USB-кабель від комп'ютера, якщо відбулося загоряння, використати вуглекислотний або порошковий вогнегасник (клас Е) (забороняється гасити водою увімкнене електрообладнання), повідомити відповідні служби.

2. Безпека при ураженні електричним струмом (актуально для етапу паяння, 220В):

Заходи при НС у разі ураження електричним струмом: негайно припинити дію струму на потерпілого (вимкнути рубильник, висмикнути вилку); якщо потерпілий не дихає, надати першу долікарську допомогу (штучне дихання, непрямий масаж серця); викликати швидку допомогу.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи було розроблено пристрій для проведення відео конференцій. Спроектований пристрій є простим і лаконічним, інтерфейс інтуїтивно зрозумілий. Розроблений пристрій здається простим, але він чітко і безпомилково виконує свої функції.

У зв'язку з тим, що пристрій по натисканню на клавішу відправляє комп'ютеру комбінації клавіш («гарячі» клавіші) програм для проведення відео конференцій, він по суті є додатковою клавіатурою, і відрізняється від неї лише тим, що в ньому менша кількість клавіш, які потрібно насиснути для відправки команди, ніж кількість клавіш, які використовують популярні програми для проведення відео конференцій.

Розроблений пристрій кожен користувач може підстроювати під себе не лише для використання з програмами для проведення відео конференцій, а і з будь яким іншим програмним забезпеченням, але для цього потрібні мінімальні навички програмування і роботи з апаратною частиною.

Підводячи підсумки, можна стверджувати, що розроблений в цій кваліфікаційній роботі пристрій є перспективним, тому що із зростанням кількості проведених відео конференцій в сучасному світі, постає питання спрощення їх управління. І розроблений пристрій дозволяє не відриватися від самої конференції, для того щоб здійснити якісь дії в самій програмі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Arduino Products [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
2. Системи відеоконференцій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://viatec.ua/catalog/video-conferencing-systems>
3. Zoom (програма) - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Zoom_\(програма\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Zoom_(програма))
4. Microsoft Teams - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Teams
5. Google Meet - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Google_Meet
6. Plug and play - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Plug_and_play
7. USB HID - Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/USB_HID
8. OneButton - Arduino Reference [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/onebutton/>
9. Bounce2 - Arduino Reference [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/bounce2>
10. HID-Project [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/hid-project/>
11. Економіка та управління підприємством: теорія і практика. Навчальний посібник / І. І. Грибик, Т. В. Кулініч, Н. В. Смолінська, Н. О. Шпак, В. Я. Гавран. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 428 с.
12. Економіка підприємства: навч. посібник : рек. МОН України / [В. П Круш, В. І. Подвігіна, Б. М. Сердюк [та ін.] ; МОН України. – 2-ге вид., стер. – К. : Ельга-Н : КНТ, 2009. – 777.
13. Аналогова схемотехніка /[Медяний Л.П.] – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 177с.

14. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843>
15. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
16. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
17. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
18. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Дослідження релейного електронного регулятора температури. /Методичні вказівки до лабораторної роботи з курсу «Приводи та автоматика мехатронних систем» для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль: ТНТУ. 2025. 15 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50560>.
19. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
20. Капаціла Ю.Б., Марущак П.О., Савків В.Б. Методичні вказівки з виконання курсової роботи з дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів

освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль: ТНТУ, 2023. 32 с

21. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>

22. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.

23. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>

24. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>

25. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>

26. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними

- процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>
27. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
28. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Електроніка і мікросхемотехніка". – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
29. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Електроніка і мікросхемотехніка" Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
30. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Інформаційно – вимірювальні системи" Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
31. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
32. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня „бакалавр" усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
33. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.

34. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
35. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
36. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
37. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>
38. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>