

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-математичний факультет
Кафедра інформатики та прикладної математики

«Допущено до захисту»

В.о. завідувача кафедри

_____.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

Реєстраційний № _____

« ____ » _____ 2025 р.

**РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЛІНІЙНОГО
ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ВІДЕО- ТА ФОТОЗЙОМКИ**

Кваліфікаційна робота студента

групи І-21

ступінь вищої освіти «бакалавр»

спеціальності 014.09 Середня освіта

(Інформатика)

Суганяки Владіслава Владіславовича

Керівник: Степанюк Олександр

Миколайович

Оцінка:

Національна шкала _____

Шкала ECTS _____ Кількість балів _____

Голова ЕК _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Члени ЕК _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Суганяка Владіслав Владіславович, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

01.06.2015

(дата)



(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ВІДЕО- ТА ФОТОЗЙОМКИ.....	6
1.1. Wiral LITE	6
1.2. Syrp Slingshot	9
1.3. Rhino Flywheel	12
1.4. CamTram System 2500.....	16
1.5. Proaim Sky-Walker Pro Cinema Cablecam System	17
1.6. Edelkrone SliderONE v3.....	18
1.7. Порівняння пристроїв	21
Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ВІДЕО- ТА ФОТОЗЙОМКИ.....	23
2.1. Компоненти системи.....	23
2.2. Опис роботи системи	26
2.3. Вибір середовища розробки	27
2.3. Режими роботи системи.....	28
2.4. Система безпеки та плавності руху	29
2.5. Опис роботи керуючого модуля системи	30
2.6. Опис роботи керуючих команд.....	30
Висновки до розділу 2	32
ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасна Україна переживає активну цифрову трансформацію, що особливо актуалізувалося в умовах воєнного стану та необхідності адаптації до нових викликів. З 2 березня 2024 року набув чинності Закон України «Про цифровий контент та цифрові послуги» [12], що створює правову основу для розвитку цифрової економіки та відкриває нові можливості для інноваційних технологічних рішень.

Інтеграція України в Єдиний цифровий ринок ЄС може сприяти зростанню ВВП України до 12,1% [13], що підкреслює стратегічну важливість розвитку цифрових технологій для економічного відновлення країни. Це створює сприятливе середовище для розробки та впровадження інноваційних автоматизованих систем, зокрема в галузі мультимедійного контенту.

Попит на якісну відео- та фотопродукцію в Україні зростає у декількох напрямках: документування воєнних подій, створення контенту для міжнародної інформаційної підтримки, розвиток внутрішнього медіаринку та підтримка творчих індустрій як частини культурної дипломатії. Сучасний український кінематограф демонструє ознаки відродження, особливо в контексті міжнародної підтримки та грантового фінансування культурних проєктів [14].

Успішна реалізація медіапроєктів залежить від використання сучасного технологічного обладнання, здатного забезпечити професійну якість зйомки при обмежених ресурсах. Існуючі на українському ринку рішення часто є імпортними, дорогими та недоступними для малих творчих колективів і незалежних продюсерів. Розробка вітчизняної автоматизованої системи лінійного переміщення дозволить знизити залежність від імпортного обладнання, створити доступне технічне рішення для українських медіапроєктів та сприяти розвитку національних компетенцій у сфері робототехніки й відновленню творчих індустрій.

Тема дослідження поєднує актуальні напрями розвитку української

інженерної освіти: робототехніку, мехатроніку, програмування та автоматизацію, що відповідає пріоритетам державної політики щодо розвитку STEM-освіти та інноваційних технологій. Проєкт має потенціал для комерціалізації та створення інноваційного стартапу в контексті розвитку ІТ-сектору.

Таким чином, вибір теми обумовлений її високою практичною значущістю, інноваційним потенціалом, відповідністю стратегічним пріоритетам цифрового розвитку України та можливістю внеску у відновлення творчих індустрій.

Мета дослідження: розробка автоматизованої системи лінійного переміщення, яка забезпечує точне, плавне та стабільне управління рухом камери для створення високоякісної динамічної відео- та фотозйомки.

Об’єкт дослідження: автоматизована система лінійного переміщення, призначена для динамічної відео- та фотозйомки.

Предмет дослідження: принципи проєктування, методи автоматизації та алгоритми управління лінійним переміщенням камери в системах динамічної відео- та фотозйомки.

Завдання дослідження:

- Дослідити існуючі автоматизовані системи лінійного переміщення для відео- та фотозйомки.
- Визначити їхні переваги, недоліки та області застосування.
- Розробити технічні вимоги до системи відповідно до потреб професійної та аматорської зйомки.
- Врахувати параметри стабільності, точності, швидкості та універсальності.

- Розробити механічну конструкцію, яка забезпечує плавність та стабільність руху.
- Вибрати електронні компоненти для управління (контролери, двигуни, сенсори).
- Створити алгоритми управління для точного контролю руху камери.
- Розробити інтерфейс користувача для зручної взаємодії із системою.
- Інтегрувати механічну, електронну та програмну частини в єдину систему.
- Забезпечити узгодженість і коректність роботи всіх елементів.
- Провести експериментальні випробування системи для оцінки її характеристик (точності, стабільності, зручності використання).
- Оптимізувати конструкцію та алгоритми на основі отриманих результатів.

Методи дослідження:

- Використання інженерного моделювання для проєктування механічної конструкції.
- Вибір електронних компонентів (контролери, приводи, сенсори) на основі аналізу їх характеристик та відповідності технічним вимогам.
- Створення алгоритмів автоматизації та контролю руху камери.
- Розробка програмного забезпечення для управління системою (включаючи взаємодію з користувачем).
- Проведення тестувань розробленої системи для перевірки її

функціональності.

- Оцінка точності, стабільності та ефективності системи під час реальних сценаріїв зйомки.
- Оптимізація параметрів руху та роботи приводів.
- Визначення шляхів вдосконалення системи на основі експериментальних даних.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, 3 висновків, списку використаних джерел (17 найменувань); Робота містить 32 сторінки тексту, 9 рисунків, 2 таблиці. Загальний обсяг курсової роботи – 37 сторінок.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ВІДЕО- ТА ФОТОЗЙОМКИ

1.1. Wiral LITE

Wiral LITE — це портативна система кабельної камери, що дозволяє знімати плавні та динамічні кадри за допомогою камери, прикріпленої до троса [1]. Пристрій розроблений для створення кінематографічних відео як на відкритому повітрі, так і в приміщеннях, і є ідеальним для відеографів, блогерів, фотографів і навіть туристів, які прагнуть отримати професійний рівень зйомки. Офіційний веб-сайт позиціонує Wiral LITE як "першу просту у використанні кабельну камеру", підкреслюючи її здатність переносити камеру в "місця, де вона ніколи раніше не була". Кампанія на Kickstarter представила Wiral LITE як "доступну, просту у використанні систему кабельної камери" для смартфонів, екшн-камер і бездзеркальних камер вагою до 1,5 кг [2].



Рис 1.1. Wiral LITE

Характеристики:

1. Дизайн і конструкція

- Розмір і вага: Легкий і компактний корпус, який зручно носити в рюкзаку. Загальна вага становить близько 1,3 кг.

- Матеріали: Якісний пластик і металеві елементи забезпечують міцність конструкції.

- Сумісність: Wiral LITE підтримує:

- GoPro та інші екшн-камери.
- Смартфони (з відповідним кріпленням).
- Компактні дзеркальні чи бездзеркальні камери (з вагою до 1,5 кг).

2. Система кріплення

- Трос із міцного матеріалу довжиною 50 м (в комплекті).
- Додаткові аксесуари дозволяють збільшити довжину тросу до 100 м.
- Надійне кріплення тросу до дерев, стовпів або інших стабільних точок.

3. Режими роботи

- Нормальний режим: Звичайна зйомка з постійною швидкістю. Швидкість 0 – 4,5 км/год.

- Time Lapse: Повільний і плавний рух для створення прискорених відео. Швидкість 6,4 – 39,9 м/год для режиму покадрової зйомки.

- Спорт-режим: Підвищена швидкість руху для динамічних кадрів. Швидкість 0 – 34 км/год.

- Реверс: Легко змінювати напрямок руху камери.

4. Швидкість і акумулятор

- Максимальна швидкість руху: 45 км/год.
- Тривалість роботи від акумулятора: 3 години безперервної зйомки.
- Час повної зарядки: близько 3 годин через USB-C.

5. Система управління

- Пульт дистанційного керування з простими кнопками для вибору

режиму та регулювання швидкості.

- Додаток для смартфонів (в деяких версіях), який дозволяє точно контролювати рух.

Переваги Wiral LITE:

1. Простота у використанні:
 - a. Налаштування займає 3-5 хвилин, навіть якщо ви новачок.
 - b. Не потребує складного обладнання чи професійних знань.
2. Безпека:
 - a. Використовується там, де дрони заборонені (наприклад, в густих лісах чи закритих приміщеннях).
 - b. Не створює шуму, як дрони.
3. Компактність:
 - a. Можна брати з собою у будь-яку подорож.
4. Гнучкість:
 - a. Підходить для різних сценаріїв: спорт, подорожі, сімейні свята, реклами тощо.

Комплектація [1, 2]

Стандартний набір включає:

1. Wiral LITE (сам пристрій).
2. Трос довжиною 50 метрів.
3. Пульт управління.
4. Акумулятор і зарядний кабель.
5. Кріплення для камер.

Додатково можна придбати:

1. Подовжений трос (до 100 м).
2. Стабілізуючі кріплення для смартфонів.

3. Розширені батареї.

Ціна Wiral LITE варіюється від \$400 до \$500 залежно від продавця та комплектації. Інколи доступні знижки чи акції.

1.2. Syrp Slingshot

Syrp Slingshot [3] — це система кабельної зйомки, створена для великих відстаней і професійного рівня таймлапсів. Вона дозволяє розмістити камеру на тросі, забезпечуючи плавний рух для зйомок як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі. Основна аудиторія цього продукту — професійні відеографи та фотографи, які працюють із динамічними кадрами природи, міської архітектури чи заходів.

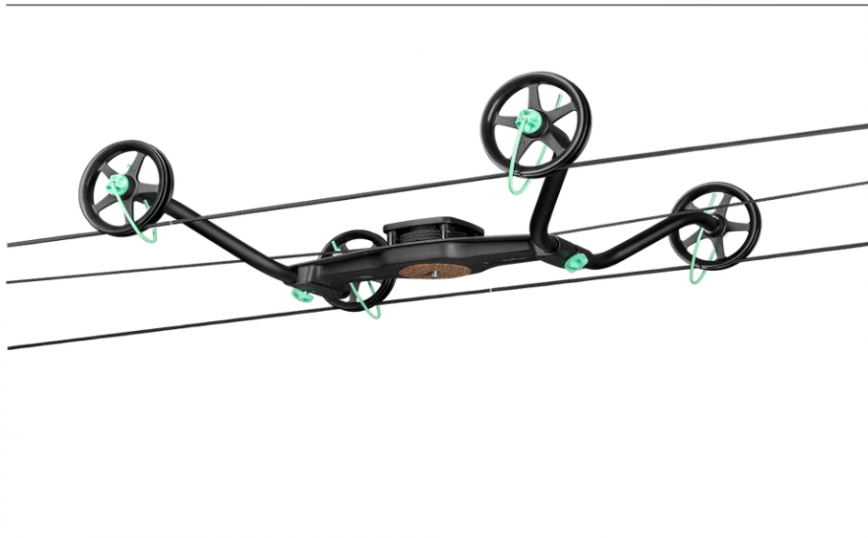


Рис 1.2 Syrp Slingshot

Характеристики:

1. Дизайн і конструкція

- Розмір: Компактний дизайн, але система потребує достатньо місця для натягування тросу.

- Матеріали: Міцна конструкція з алюмінію, здатна витримувати важкі умови зйомки.

Сумісність:

- Підтримує дзеркальні та бездзеркальні камери.
- Може використовуватися із широким спектром об'єктивів.

2. Система кріплення

- Трос довжиною 100 метрів (в комплекті), з можливістю розширення.

- Надійні кріплення для установки тросу між деревами, будівлями чи іншими стабільними об'єктами.

- Легке налаштування натягу тросу для стабільного руху.

3. Режим роботи

- Таймлапс: Основний режим для зйомки тривалих кадрів з повільним рухом.

- Режим реального часу: Для плавного руху під час зйомки відео (потрібно додаткове обладнання Syrp Genie або Genie II).

4. Управління

- Контролери Syrp Genie або Genie II [4]:
 - Відповідають за точність руху камери.
 - Дозволяють створювати складні програми зйомки, такі як панорамування чи нахил.

- Мобільний додаток: Для детального налаштування параметрів руху.

5. Акумулятор

- Залежить від контролера (наприклад, Genie II працює до 15 годин на одному заряді).

- Легко змінювані батареї.

6. Швидкість

- Рух камери повільний і плавний, щоб забезпечити якість таймлапсів (приблизно 1 метр за 25 секунд).

Переваги Syrp Slingshot

1. Довга дистанція:

- Здатний покривати відстань до 100 метрів, що значно більше, ніж у більшості кабельних систем [4].

2. Професійна якість:

- Ідеально підходить для зйомки великих пейзажів, міської архітектури чи подій.

3. Гнучкість:

- Працює у парі з іншими продуктами Syrp, що дозволяє налаштовувати камеру для складних зйомок.

4. Легкість транспортування:

- Незважаючи на довжину тросу, система досить компактна.

Недоліки Syrp Slingshot

1. Складність налаштування:

- Для встановлення потрібен час і місце для закріплення тросу.

2. Залежність від контролерів:

- Для роботи потрібні додаткові пристрої (Syrp Genie або Genie II).

3. Ціна:

- Висока вартість (~\$1000 за основний комплект без контролерів).

Де і для чого використовувати?

- Пейзажі: Для створення плавних таймлапсів природи.
- Архітектура: Динамічні зйомки міських пейзажів.

- Інтерв'ю чи події: Використовується для створення унікальних рухів камери.

- Кінематограф: Забезпечує високий професійний рівень відеозйомок.

- Комплектація

Стандартний комплект включає [3]:

- Кабельна система Syrp Slingshot.
- Трос довжиною 100 метрів.
- Кріплення для натягування тросу.
- Сумка для транспортування.

Додатково доступно:

- Syrp Genie або Genie II для управління рухом.
- Подовжений трос (до 200 метрів).
- Аксесуари для стабілізації камери.

Ціна

- Базовий комплект (без контролерів): ~\$1000.
- З додатковими аксесуарами (контролер Genie II): ~\$1500–2000.

1.3. Rhino Flywheel

Rhino Flywheel [5] — це механічний аксесуар, який додає інерцію до руху камери на слайдері. Він працює за принципом маховика, згладжуючи нерівності у русі. Це ідеальний вибір для відеографів, які віддають перевагу ручному управлінню камерою.



Рис 1.3 Rhino Flywheel

Характеристики [5]:

1. Дизайн і конструкція

- Матеріали: Високоякісний алюміній, який забезпечує довговічність і стабільність.
- Сумісність:
 - Підходить для слайдерів серії Rhino EVO та Rhino ROV.
 - Легко інтегрується в систему без необхідності додаткових інструментів.
- Розміри: Компактний і легкий аксесуар, що не створює додаткового навантаження.

2. Установка

- Установка займає лише кілька хвилин.
- Не потребує електроживлення чи налаштування програмного забезпечення.
- Легко знімається і переставляється між різними слайдерами.

3. Робота

- Принцип дії: Маховик накопичує кінетичну енергію під час руху, що забезпечує плавний і рівномірний рух слайдера.
- Плавність руху: Навіть при ручному штовханні камери рух стає максимально стабільним.

- Тихий режим: Механіка працює безшумно, що важливо для зйомок з використанням звуку.

Переваги Rhino Flywheel

1. Плавний рух:
 - Згладжує різкі поштовхи, які можуть виникати під час ручного управління.
2. Легкість у використанні:
 - Не потребує додаткового обладнання чи спеціальних навичок.
3. Доступна ціна:
 - Значно дешевше, ніж моторизовані системи.
4. Мобільність:
 - Компактний розмір дозволяє легко транспортувати аксесуар разом зі слайдером.
5. Простота:
 - Ідеально підходить для тих, хто хоче уникнути складних моторизованих рішень.

Недоліки Rhino Flywheel

1. Обмежена довжина руху:
 - Плавність руху залежить від довжини слайдера (зазвичай до 80 см).
2. Ручне управління:
 - Підходить лише для ручного управління, не забезпечує автоматизованих функцій.
3. Не для довгих дистанцій:
 - Порівняно з кабельними системами, як Wiral LITE чи Syrp Slingshot, Flywheel має обмеження у відстані.

Де і для чого використовувати?

- Інтерв'ю: Для плавних кадрів зі зміщенням перспективи.
- Комерційна зйомка: Рекламні ролики з професійним виглядом.
- Короткі відео: Бюджетне рішення для створення кінематографічних

кадрів.

- YouTube та соціальні мережі: Ідеально для контент-креаторів, які хочуть покращити якість своїх відео.

Комплектація

- Rhino Flywheel постачається як окремий аксесуар.
- Включає всі необхідні елементи для установки на слайдер.

Ціна

- Вартість: ~\$100–150, що робить його одним із найдоступніших варіантів для покращення плавності руху.

1.4. CamTram System 2500

CamTram — це кабельна система для кінематографічної зйомки, яка дозволяє створювати плавні рухи камери на великих відстанях (до 300 м). Вона використовується для зйомок у кіно, рекламі та масштабних івентах [6].



Рис 1.4 CamTram System 2500

Характеристики:

- Довжина троса: До 300 м (модульна система, можна з'єднувати ділянки).
- Вантажопідйомність: До 15 кг (підтримує професійні кінокамери).
- Матеріали: Алюмінієві рейки, сталеві троси, антикорозійне покриття.
- Управління:
 - Ручне або моторизоване (з контролерами типу CamTram Motion Drive).
 - Додаток для точного налаштування швидкості та траєкторії.
- Швидкість: До 10 м/с у швидкісному режимі.

Переваги:

- Надійність для професійних зйомок.
- Можливість використання у складних умовах (наприклад, над водою або в горах).
- Підтримка важких камер (на відміну від Wiral LITE).

Недоліки:

- Висока вартість (від \$3000 за базовий комплект) [7].
- Складність монтажу (потрібна команда для налаштування).

Ціна:

- Базовий комплект (100 м троса + кріплення): ~\$3000.
- Моторизований модуль: +\$1500.

1.5. Proaim Sky-Walker Pro Cinema Cablecam System

Proaim Sky-Walker Pro Cinema Cablecam System — це бюджетний аналог Wiral LITE, розроблений для ентузіастів і невеликих відеопроєктів. Підходить для зйомки з дронами, екшн-камерами або смартфонами. Система легка, компактна та проста у використанні, що робить її доступною для широкого кола користувачів. CableCam Pro забезпечує плавні та динамічні кадри, ідеально підходячи для зйомки спортивних подій, активного відпочинку та інших динамічних сцен.



Рис 1.5 Proaim Sky-Walker Pro Cinema Cablecam System

Характеристики [8]:

- Довжина троса: 30 м (розширюється до 50 м).
- Вага камери: До 1 кг.
- Швидкість: До 20 км/год.
- Акумулятор: До 2 годин роботи.
- Керування: Пульт ДК або додаток (Bluetooth).

Переваги:

- Низька ціна порівняно з конкурентами.
- Проста установка (на відміну від Syrp Slingshot).
- Легкий (вага — 0,8 кг).

Недоліки:

- Обмежена довжина троса.
- Не підходить для професійних камер.
- Може бути чутливим до вітру.

Ціна: Базовий комплект: ~\$200–250.

1.6. Edelkrone SliderONE v3

Edelkrone SliderONE v3 — це компактний і надпортативний моторизований слайдер, призначений для створення плавних рухів камери для таймлапсів, стоп-моушн анімації та динамічних відеозйомок у студії або на виїзді. Він відрізняється компактним розміром, що дозволяє легко помістити його в будь-яку сумку для камери. SliderONE ідеально підходить для незалежних кінематографістів, відеоблогерів і творців контенту, яким потрібне портативне та просте у використанні рішення для покращення якості своїх відео.



Рис 1.6 Edelkrone SliderONE v3

Характеристики [8]:

- Довжина слайдера: 20 см.
- Вага камери: 9 кг або менше, працює на нахилі, вантажопідйомність 2,3 кг або менше при вертикальній роботі.

• Керування:

- Додаток для налаштування руху.
- Підтримка автоматичних режимів (панорамування, нахил).

• Акумулятор: До 2 годин роботи на повну потужність.

Переваги:

• Автоматизація без додаткових контролерів (на відміну від Syrp Slingshot).

• Тихий робочий режим.

Недоліки:

• Обмежена довжина руху.

- Вимагає стабільної поверхні.

Ціна: Базовий комплект: ~\$549.

1.7. Порівняння пристроїв

Для комплексної оцінки існуючих технологічних рішень здійснено порівняльний аналіз кабельних систем зйомки та слайдерів за основними технічними характеристиками: вантажопідйомністю, швидкістю переміщення, робочою довжиною, функціональними можливостями та ціновою категорією. Дослідження включає аналіз як доступних рішень для незалежних творців, так і професійних систем кіноіндустрії.

Табл. 1

Порівняльний аналіз кабельних систем зйомки та слайдерів

Назва системи	Вантажо-підйомність (кг)	Макс. швидкість (км/год)	Довж. троса (м)	Орієнтовна ціна (USD)	Ключові особливості
Wiral LITE	1.5	34	100	359-549	Портативна, проста у використанні, сумісність з різними камерами.
Syrp Slingshot	8	До 5	100	989-2155	Оптимальна для таймлапсів на великих відстанях, вимагає додаткових контролерів.
Rhino Flywheel	6,8	-	1,6	100-150	Механічний пристрій для плавного руху камери на слайдері.
CamTram System	15	36	300	від 3000	Професійне рішення, велика відстань, висока вантажопідйомність.
CableCam Pro	1	20	500	200-250 (базовий)	Бюджетний аналог Wiral LITE, простий у встановленні, легкий.
Edelkrone SliderONE v3	9 гориз. , 2.3 верт.	0.048	0.2	549	Компактний моторизований слайдер, керування через додаток, ручний режим, функція TapMove.

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз сучасних систем лінійного переміщення камери виявив їх функціональну диференціацію за сферами застосування. Портативні рішення (Wiral LITE, CableCam Pro) забезпечують мобільність та швидке розгортання для польових умов, тоді як професійні системи (Syrp Slingshot, CamTram System 2500) орієнтовані на складні кінематографічні завдання з розширеним функціоналом.

Слайдери типу Rhino Flywheel та Edelkrone SliderONE v3 демонструють оптимальну ефективність для студійної роботи, де критичними є плавність та прецизійність руху. Однак відсутність універсальних рішень обумовлює необхідність компромісу між портативністю та професійними характеристиками.

Аналіз підтверджує потребу в розробці адаптивних автоматизованих систем, які поєднуюватимуть гнучкість налаштувань, надійність роботи та доступність для різних категорій користувачів, що обґрунтовує актуальність створення власного технічного рішення.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ВІДЕО- ТА ФОТОЗЙОМКИ

2.1. Компоненти системи

1. Електропривід:

Безщітковий мотор 3542 постійного струму (BLDC).

Переваги:

- Високий ККД (до 90%) у порівнянні зі щітковими моторами.
- Менше тертя, довший термін служби (відсутність щіток).

2. Контролер TSKY 120A

- Максимальний струм: 120A (з запасом для пікових навантажень).
- Підтримка різних режимів роботи (рекуперація енергії, плавний розгін/гальмування).

- Надійний захист від перегріву та перевантажень.
- Сумісність з моторами BLDC різної потужності.
- Можливість програмного налаштування під конкретні задачі.

3. Акумуляторна система: $4 \times \text{Li-ion } 18650 (30\text{A}, 3000 \text{ mA} \cdot \text{г})$

Схема з'єднання акумуляторів 2x2 для збільшення потужності:

Послідовне з'єднання в групах:

- Два акумулятори 18650 включаються послідовно в групі
- Дві групи з'єднуються паралельно

Параметри:

- Напруга однієї групи: 7.4В ($2 \times 3.7\text{В}$)
- Загальна напруга системи: 7.4В
- Ємність збільшується до 6000 мА*г
- Максимальний струм до 60А

Розрахункова максимальна швидкість руху системи по тросу до 35 км/год

Система керування (рис.2.1):

1. Мікроконтролер: STM32F103C8T6

- Висока продуктивність (72 МГц, 64 КБ Flash, 20 КБ RAM).
- Підтримка різних інтерфейсів (UART, SPI, I2C, PWM).
- Низьке енергоспоживання.
- Велика підтримка від спільноти (легкість програмування).

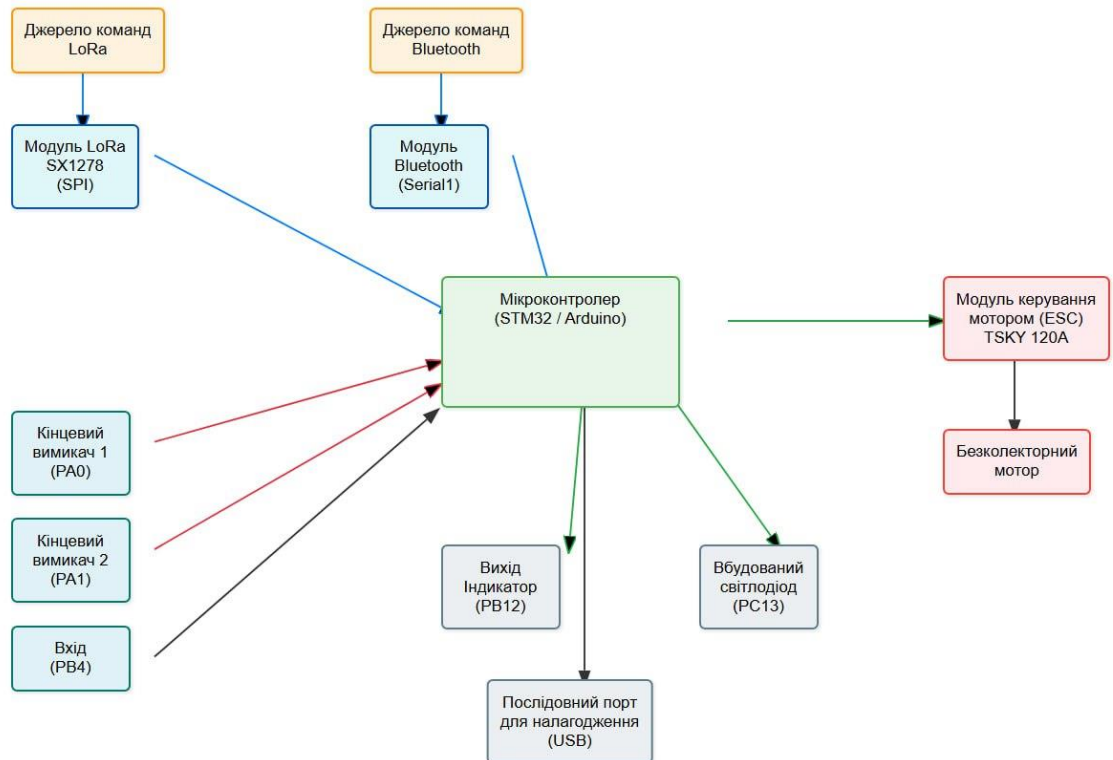


Рис. 2.1 Схема підключення електронних компонентів системи

2. Радіомодуль: LoRa RA-01 (433 МГц)

Переваги:

- Дальність зв'язку до 5–10 км (відмінно підходить для дистанційного керування).

- Низьке енергоспоживання.
- Висока стійкість до перешкод.
- Застосування:
 - Віддалене управління через спеціальний пульт.
 - Моніторинг параметрів системи в реальному часі.

3. Додатковий інтерфейс: Bluetooth AT-09 4.0 BLE HM-10

- Зв'язок зі смартфоном (керування через додаток).

- Швидке налаштування параметрів.
- Можливість збору даних (наприклад, швидкість, заряд батареї).

Варіанти дистанційного управління:

1. Спеціалізований радіопульт (LoRa) (надійність в умовах перешкод).
 2. Мобільний або веб-додаток (Bluetooth)
- Інтуїтивний інтерфейс керування.
 - Моніторинг стану системи (напруга, струм, температура).

Список компонентів з орієнтовними цінами:

1. Мотор BLDC 3542 – \$15–\$25 (залежно від бренду: Racerstar, DYS, EMAX).
2. ESC TSKY 120A – \$25–\$35 (потужний ESC; можна знайти дешевше на AliExpress).
3. Li-ion 18650 (4 шт) – \$12 (хороші елементи 30А, наприклад Samsung 30Q по \$3 за штуку).
4. Батарейний тримач, балансер – \$2–\$4 (тримач + BMS-плата для захисту).
5. Мікроконтролер STM32F103C8T6 – \$2–\$3 ("Blue Pill" – дуже поширений, дешевий).
6. LoRa RA-01 (433 МГц) – \$4–\$6 (з антеною, модуль від Ai-Thinker).
7. Bluetooth HM-10 / AT-09 – \$3–\$5 (бюджетна альтернатива з BLE 4.0).
8. Дроти, роз'єми, плата прототипування – \$3–\$6 (GPIO Dupont-набір, клеми живлення).
9. Корпус / конструкція – \$10–\$20 (3D-друк, алюміній або пластик)
10. Кріплення / підшипники / вісь / трос 100м 4мм в діаметрі – \$10–\$15 (в залежності від обраної системи переміщення).
11. Радіопульт (LoRa або DIY) – \$5–\$15 (якщо власноруч зібраний – дешево; готові – дорожче).
12. Додаткові сенсори / кнопки / кінцевики – \$2–\$5 (залежить від комплектації).

Загальна орієнтовна вартість: \$93–\$148.

2.2. Опис роботи системи

На рисунку 2.2 зображено механічну конструкцію системи:

- Каретка (синій блок) — основна рухома частина, на якій закріплена камера.
- Якір 1 та Якір 2 — два кінці троса, між якими натягнута лінія для переміщення каретки.
- BLDC мотор — безщітковий електродвигун, обертає привідний ролик, який переміщує каретку по тросу.
- Привідний ролик — захоплює трос і забезпечує рух.
- Кінцеві вимикачі (KB1, KB2) — фізичні обмежувачі ходу, які зупиняють каретку при досягненні крайньої точки (ліворуч чи праворуч).
- Мікроконтролер (STM32) — обробляє команди користувача та керує мотором.
- LoRa-модуль — забезпечує бездротове управління на великій відстані (5–10 км).
- Bluetooth-модуль (BT) — дозволяє керувати пристроєм зі смартфона або планшета через додаток.
- Кріплення камери — місце, де фіксується екшн-камера або інше обладнання для зйомки.

Алгоритм роботи системи:

Ініціалізація:

- Користувач вмикає пристрій.
- Мікроконтролер ініціалізує всі модулі (LoRa, Bluetooth, контролер мотору).

Передача команд:

- Керування відбувається або через LoRa-пульт, або через мобільний чи веб-додаток по Bluetooth.
- Користувач подає команду “вперед” або “назад”.

Рух:

- Мікроконтролер активує BLDC мотор, який через привідний ролик

починає рухати каретку по тросу в потрібному напрямку.

- Каретка переміщується між Якорем 1 та Якорем 2.

Зупинка:

- Коли каретка досягає одного з кінцевих положень, вона натискає відповідний кінцевий вимикач (KB1 або KB2).
- Мікроконтролер одразу зупиняє мотор для запобігання зіткнення або пошкодження.

Зворотній рух:

- Користувач може подати команду на зворотній рух, і система повторює цикл у протилежному напрямку.

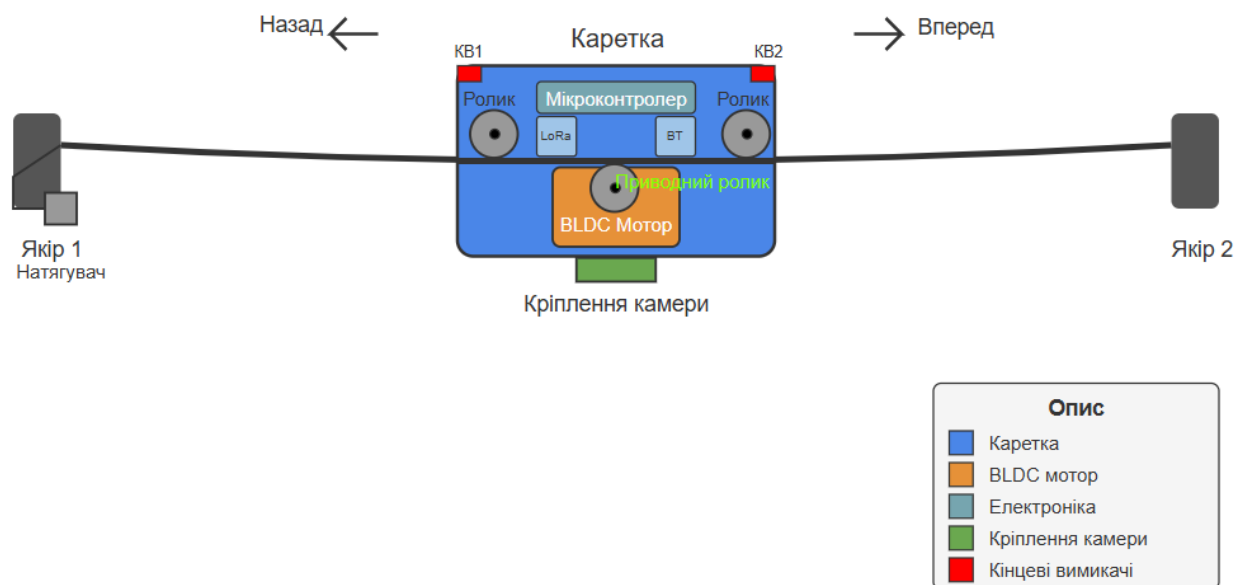


Рис. 2.2 Схема автоматизованої системи лінійного переміщення для динамічної відео та фотозйомки

2.3. Вибір середовища розробки

Для написання керуючого ПО ми використали **Arduino IDE** – безкоштовне середовище з відкритим кодом, яке ідеально підходить для швидкої розробки прототипів на базі мікроконтролерів [9].

Перед початком програмування довелося:

1. Встановити додаткові ядра для STM32 (через Board Manager).
2. Підключити бібліотеки:

- a. LoRa – для роботи з радіомодулем RA-01.
- b. SoftwareSerial або HardwareSerial – для зв'язку з Bluetooth HM-10.
- c. Servo – для управління безщітковим мотором через контролер.
- 3. Налаштувати SPI – для комунікації між модулями LORA та Bluetooth.

2.3. Режими роботи системи

Автоматизована система лінійного переміщення для динамічної відео- та фотозйомки пропонує користувачу декілька режимів руху (рис. 2.3), що забезпечує гнучкість використання та розширює творчі можливості оператора.

Базовий режим руху

Система забезпечує два варіанти базового руху по тросу:

- Режим утримання кнопки — рух платформи відбувається лише під час натискання та утримання кнопки напряму (вперед або назад) на пульті дистанційного керування або в мобільному додатку. При відпусканні кнопки система плавно зупиняється.

- Режим одноразового натискання — активація руху здійснюється одним натисканням кнопки напряму, після чого система продовжує рух до моменту натискання кнопки "Стоп". Цей варіант особливо зручний для тривалих проїздів без необхідності постійно утримувати кнопку.

Інтервальний режим руху

Інтервальний режим руху розроблений для створення повторюваних циклічних рухів з заданими часовими параметрами. Користувач може встановити:

- Час безперервного руху в одному напрямку
- Час зупинки перед автоматичною зміною напрямку на протилежний.

Цей режим підходить для інтервальної зйомки (таймлапс), коли необхідно забезпечити рівномірний рух камери з фіксованими зупинками для експозиції.

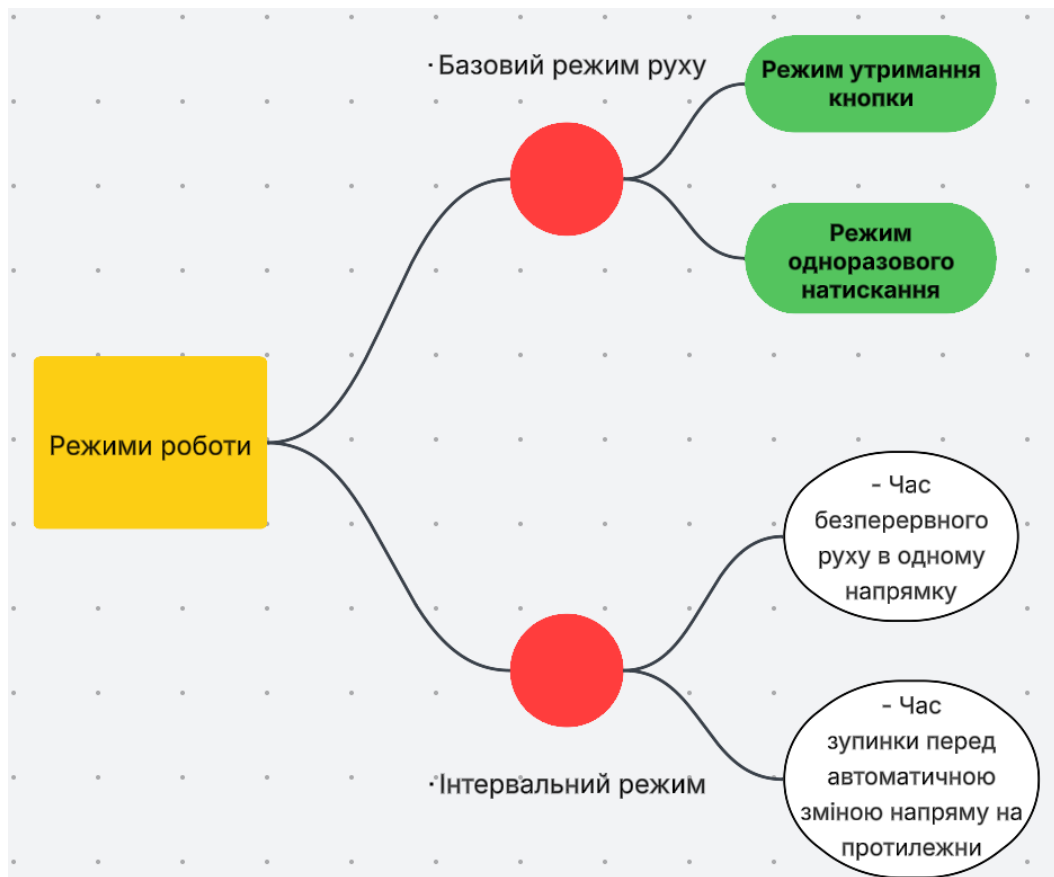


Рис. 2.3 Блок-схема режимів роботи системи

2.4. Система безпеки та плавності руху

Для забезпечення високої якості зйомки та безпечної експлуатації системи реалізовані наступні функції:

- Плавний розгін та сповільнення — система поступово набирає швидкість при старті та плавно сповільнюється при зупинці, що усуває ривки і вібрації, критичні для якісної зйомки
- Аварійне гальмування — можливість екстреного зупинення руху без поступового сповільнення у випадку необхідності
- Автоматична зупинка на кінцях тросу — система автоматично визначає досягнення кінцевої точки тросу та зупиняється, запобігаючи пошкодженню механізму

Керування всіма режимами здійснюється за допомогою пульта дистанційного керування з використанням технології LoRa, що забезпечує зручність і гнучкість використання системи в різних умовах зйомки.

2.5. Опис роботи керуючого модуля системи

Код [11] призначений для керування безколекторним двигуном (BLDC) за допомогою контролера TSKY 120A, отримуючи команди як через радіомодуль LoRa, так і через Bluetooth. Він також реалізує логіку для інтервального руху, захисту від втрати сигналу та використовує кінцеві вимикачі для обмеження руху. Повний код на сторінці GitHub [11].

Режими роботи:

1. Ручний режим (r=1):

- Керування швидкістю та напрямком з пульта.
- Миттєва або плавна зупинка.
- Захист від втрати сигналу (автоматична зупинка через 250 мс).

2. Інтервальний режим (r=2):

Циклічний рух з заданими інтервалами:

- Час руху (hlm)
- Час паузи (hld)

Захист та обмеження:

- Обробка кінцевих вимикачів (PA0, PA1)
- Обмеження швидкості в діапазоні 0-99
- Плавна зміна швидкості для запобігання різким навантаженням

Додаткові функції:

- Калібрування мотора (функція calibr_motor)
- Індикація стану через світлодіод (PC13)
- Діагностичний вивід через Serial (115200 бод)

2.6. Опис роботи керуючих команд

Опис структури рядка керуючої команди, який система отримує через LoRa або Bluetooth:

Командний рядок складається з 18 символів, і його частини розбираються на різні параметри керування системою. Розшифровка структури відбувається наступним чином (табл. 2.):

1. Символи з 2 по 3 (позиції 2, 3): Визначають режим роботи системи (r).
Змінна r приймає ці значення. Код обробляє режими $r == 1$ (ручне керування) та $r == 2$ (інтервальний режим).
2. Символи з 4 по 6 (позиції 4, 5, 6): Визначають код команди (com).
 - a. Ці три символи інтерпретуються як тризначне число (десятькове).
 - b. Змінна com приймає ці значення. Різні значення com відповідають певним діям (наприклад, зупинка, рух вперед/назад).
3. Символи з 7 по 8 (позиції 7, 8): Визначають значення швидкості (sp1).
 - a. Ці два символи інтерпретуються як двозначне число (десятькове).
 - b. Це значення sp1 (від 0 до 99) використовується для визначення цільової швидкості мотора за допомогою функції map, яка перетворює його в діапазон, що відповідає кутам сервопривода (0-180, де 90 - нейтраль).
4. Символ 9 (позиція 9): Визначає режим постійного руху (mo).
 - a. Цей символ інтерпретується як однозначне число (0 або 1).
 - b. Якщо значення дорівнює 1, то встановлюється в true (режим постійного руху). Якщо значення дорівнює 0, то встановлюється в false (керування за утриманням кнопки на пульті).
5. Символи з 10 по 13 (позиції 10, 11, 12, 13): Визначають тривалість руху в мілісекундах (hlm) (використовується в інтервальному режимі $r == 2$).
6. Символи з 14 по 16 (позиції 14, 15, 16): Визначають тривалість зупинки в мілісекундах (hld) (використовується в інтервальному режимі $r == 2$).
7. Символ 17 (позиція 17): Визначає напрямок руху (ls). Якщо значення дорівнює 1, ls встановлюється в true (рух вперед). Якщо значення дорівнює 0, ls встановлюється в false (рух назад).

Таким чином, 18-символьний рядок команди має фіксовану структуру, де кожна група символів на певних позиціях відповідає за конкретний параметр керування системою, закодований у десятичному форматі. Перший символ (позиція 0) та другий символ (позиція 1) зарезервовані.

Табл. 2

Опис структури рядка керуючої команди

Позиції (від)	Позиції (до)	Кількість символів	Параметр	Опис
0	1	2	Резерв	Не використовуються для числових параметрів згідно коду.
2	3	2	r	Режим роботи системи (1 - ручне, 2 - інтервальний).
4	6	3	com	Код команди (наприклад, 3 - вперед, 4 - назад, 1 - плавна зупинка).
7	8	2	sp1	Значення швидкості (від 00 до 99).
9	9	1	mo	Режим постійного руху (1 - постійний, 0 - за утриманням кнопки).
10	13	4	hlm	Тривалість руху в інтервальному режимі (значення * 1000 мс).
14	16	3	hld	Тривалість зупинки в інтервальному режимі (значення * 1000 мс).
17	17	1	ls	Напрямок руху (1 - вперед, 0 - назад).

Висновки до розділу 2

Робота над проєктом поглибила розуміння принципів побудови вбудованих систем, структур апаратної взаємодії та особливості написання ефективного керуючого коду.

Особливу увагу було приділено вибору компонентів. Були підібрані: безщітковий мотор BLDC типу 3542, що має високу ефективність і тривалий термін служби, а також контролер TSKY 120A, який дозволяє реалізовувати плавний розгін, гальмування і захист від перевантаження. Для живлення використано акумуляторну систему на базі чотирьох Li-ion елементів 18650, об'єднаних у конфігурацію 2x2, що забезпечує достатню напругу, ємність і струм для стабільної роботи системи.

У якості керуючого модуля системи було обрано мікроконтролер STM32F103C8T6 через його високу продуктивність, широкий набір периферії та активну підтримку спільнотою. Зв'язок реалізований через LoRa-модуль RA-01, який дозволяє керувати системою на великих відстанях з високою надійністю, та Bluetooth HM-10. Це дозволяє мати канал керування через спеціальний пульт або мобільний чи веб-додаток.

Було реалізовано два основні режими руху: ручний (з керуванням напряму

та швидкості) і інтервальний (із можливістю налаштування часу руху та пауз). Також додано функції плавного старту та зупинки, аварійного гальмування, а також обробку кінцевих вимикачів, що дозволяє підвищити безпеку та точність роботи. Для зручності користувача передбачено візуальний інтерфейс з кнопками, повзунками та відображенням стану системи, що значно спрощує налаштування параметрів.

Окрему увагу приділено модульності коду, що дозволяє у майбутньому легко вносити зміни або додавати нові функції. Усі основні елементи програми були протестовані як на рівні окремих функцій, так і в рамках повного циклу роботи системи.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження сучасних систем кабельної зйомки та слайдерів, а також подальша розробка власного автоматизованого пристрою для лінійного переміщення камери дозволили комплексно охопити як теоретичні, так і практичні аспекти створення ефективного знімального обладнання.

Аналіз наявних на ринку рішень — таких як Wiral LITE, Syrp Slingshot, Proaim Sky-Walker Pro, CamTram System 2500, Rhino Flywheel та Edelkrone SliderONE v3 — дав змогу визначити ключові технічні характеристики, функціональні можливості та цільові сфери застосування кожної з систем. Було встановлено, що жодне готове рішення не є повністю універсальним, а тому потреби користувачів часто вимагають гнучкого, адаптивного підходу до організації знімального процесу.

Здобуті знання стали основою для розробки власної системи лінійного переміщення, в якій поєднано найкращі практики сучасної інженерії: від грамотного підбору апаратних компонентів — таких як BLDC-мотор 3542, контролер TSKY 120A, акумулятори 18650 та мікроконтролер STM32F103C8T6 — до реалізації бездротового зв'язку на базі LoRa-модуля RA-01 і Bluetooth HM-10 та створення інтуїтивного програмного інтерфейсу користувача. Було реалізовано два режими руху (ручний та інтервальний), а також інтегровано функції плавного старту/зупинки, аварійного гальмування та обробки кінцевих вимикачів, що значно підвищують безпеку й точність роботи системи.

Особливу цінність має досвід програмної реалізації системи: модульний код, гнучка архітектура та тестування всіх функцій забезпечують не лише стабільну роботу, а й можливість подальшого вдосконалення — наприклад, додавання нових режимів зйомки або інтеграцію з мобільним додатком. Результати цієї роботи підтвердили доцільність створення кастомізованих, гнучких рішень, які можуть бути адаптовані до конкретних творчих завдань і технічних умов зйомки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wiral LITE. URL: <https://eu.wiralcam.com/>
2. Kickstarter. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/1332617026/wiral-lite-the-easy-cable-cam-for-impossible-film>
3. Manfrotto. URL: <https://www.manfrotto.com/us-en/slingshot-sy0023-0001/>
4. Chris M Williams. The Slingshot by Syrp wants to bring a new look to your time-lapses. URL: <https://www.dpreview.com/news/4576462599/slingshot-your-time-lapses-with-this-cool-new-product-from-syrp>
5. Rhinocameragear. URL: [https://rhinocameragear.eu/products/rhino-flywheel/Track in the Box. CamTram 2500 System.](https://rhinocameragear.eu/products/rhino-flywheel/Track%20in%20the%20Box.CamTram%202500%20System) URL: <http://www.camtramtrack.com/Whatisit.html>
6. CVP. CamTram 2500 System. URL: https://cvp.com/product/wr_camtram-2500?srsId=AfmBOor_1egFBmyu0OLK-rMvs7ySCDa4Si9qRDBS6rLIrAzKv2dzjINg
7. Camtool. Proaim Sky-Walker Pro Cinema Cablecam System for Camera Gimbals. URL: <https://camtools.me/sliders/proaim-sky-walker-pro-cinema-cablecam-system-for-camera-gimbals>
8. Edelkrone. SliderONE Motorized v3. URL: <https://edelkrone.com/products/sliderone?srsId=AfmBOooDlXONnCueG435zwcIHYMeBWPvYNwdhkstWDq1QJVKO2LyQzTT>
9. Arduino IDE. URL: <https://www.arduino.cc/en/software/>
10. Arduino docs. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/lora/>
11. GitHub. URL: <https://github.com/Furbulg1/Tematuchna>
12. Про цифровий контент та цифрові послуги : Закон України від 02.03.2024 р. № 3310-IX. URL: <https://de-jure.com.ua>
13. Федоров М. Інтеграція в Єдиний цифровий ринок ЄС сприятиме зростанню ВВП України до 12.1%. Київ : Кабінет Міністрів України, 2024. URL: <https://www.kmu.gov.ua>
14. Сучасне українське кіно: від становлення до міжнародного визнання. PRM.ua. 2021. URL: <https://prm.ua>
15. Аналіз кінопрокатного ринку України та напрями його розвитку. Наукові журнали Львівської політехніки. 2019. URL: <https://science.lpnu.ua>
16. Підтримка національного кінематографа: європейський досвід : аналітична записка. Київ : Національний інститут стратегічних досліджень, 2024. 25 с.
17. Економічні переваги від інтеграції в Єдиний цифровий ринок ЄС. Київ : Міністерство цифрової трансформації України, 2020. 18 с.