



OPTIMUM
ROBOTICS CLUB

МЕТОДИЧНИЙ МАТЕРІАЛ • STEM-ПРОЄКТ

OptiWing / UR-KhDA

Польова інженерія

Від ідеї — до власного працездатного виробу

Експериментальний інженерний проект, спрямований на створення простого радіокерованого літального апарата з мінімальними фінансовими витратами.

РЕКОМЕНДОВАНИЙ ВІК
10+

ТРИВАЛІСТЬ ПРОЄКТУ
24 ГОДИНИ

**ЗАГАЛЬНА
СКЛАДНІСТЬ**

○ **БАЗОВА** ○ СЕРЕДНЯ ○ ПОГЛИБЛЕНА

**РЕЗУЛЬТАТ
ПРОЄКТУ**

Створення робочого прототипу, набуття практичного досвіду у конструюванні, підборі електронних компонентів та пілотуванні систем з фіксованим крилом.

м. Хуст • Закарпатська область • Україна

Серпень 2026 року • Версія 1.3



1

Паспорт проєкту

Що створюємо, для кого і за якими критеріями

Параметр	Зміст
Назва	OptiWing / серія UR-KhDA; Польова інженерія.
Тип виробу	Навчальний радіокерований літак із фіксованим крилом на базі пінопластового металевого планера, зі штовхаючим пропелером над крилом.
Рекомендований вік	10+ років. Учасники 10–16 років виконують різання, пайку, роботу з аккумуляторами LiPo та пропелером лише під безпосереднім наглядом наставника.
Тривалість	24 години: 12 занять по 2 години (120 хвилин).
Група	До 4 учасників в індивідуальному форматі або до 8 учасників у парному форматі — 4 команди по 2. Одночасно готують не більше 4 літаків.
Формат	Індивідуальний: один учасник — один літак і одне робоче місце. Парний: двоє учасників спільно виготовляють один літак із розподілом ролей. Для польового дня бажаний дорослий асистент.
Початкові вимоги	Спеціальна підготовка не обов'язкова. Базові навички використання ручного інструменту, пайки та роботи в RC-симуляторі формуються під час курсу.
Кінцевий результат	Зібраний, налаштований і випробуваний RC-літак; навички керування RC-літаком; фото/відео та короткий захист інженерних рішень.

КАРТА СКЛАДНОСТІ

 ОБЛАДНАННЯ ●○○	 ІНСТРУМЕНТИ ●○○	 ЕЛЕКТРОНІКА ●○○	 ПРОГРАМУВАННЯ ●○○
------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

●○○ — базовий рівень ●●○ — упевнене застосування ●●● — поглиблене застосування

ГОЛОВНИЙ ПРИНЦИП

Навчання організовано навколо реального виробу. Теорія вводиться саме тоді, коли вона потрібна для вимірювання, виготовлення, налаштування, випробування або ремонту літака.

МЕТА ПРОЄКТУ

Через створення власного літального апарата сформувати практичне розуміння аеродинаміки, легкої механічної конструкції, електроживлення, радіокерування, безпечного випробування та інженерного вдосконалення. Учасник має не лише зібрати модель, а й пояснити її баланс, налаштувати керування, пройти передпольотну перевірку та відновити літак після аварійної поломки.



НАВЧАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

- Пояснює роль підйомної сили, опору, тяги, маси, центра ваги та лінії тяги.
- Вимірює й розмічає планер, виготовляє кермові поверхні та легкі кріплення без зайвого збільшення маси.
- Розуміє сумісність двигуна, ESC, пропелера, LiPo-акумулятора, приймача та сервоприводів.
- Налаштовує модель у EdgeTX, перевіряє канали, напрями, тримери, ARM/DISARM, телеметрію та режим failsafe.
- Тренується в RC-симуляторі, розпізнає орієнтацію моделі й уміє негайно прибрати газ у небезпечній ситуації.
- Проводить механічні, електричні, наземні й польові випробування та документує результат.
- Аналізує поломку як частину інженерного циклу, виконує ремонт і повторний приймальний тест.

STEM/STEAM-СКЛАДОВІ

Складова	Навчальний зміст	Практична дія
S — науки	Закони руху; підйомна сила, тяга й опір; стійкість; властивості легких матеріалів.	Пояснити поведінку планера, спрогнозувати наслідки зміни маси та центра ваги.
T — технології	Радіокерування, PWM-сигнал, ExpressLRS, телеметрія, failsafe, RC-симулятор.	Під'єднати електроніку, створити модель у RadioMaster Pocket, перевірити зв'язок і безпечну зупинку.
E — інженерія	Баланс, симетрія, розподіл навантажень, пілон, тяги, ремонтпридатність.	Спроекувати компонування, виготовити вузли, провести контроль якості й удосконалення.
A — мистецтво	Візуальна відмінність верху/низу, впізнаваний номер, акуратне оформлення.	Створити контрастну схему, що одночасно покращує видимість і формує стиль серії UR-KhDA.
M — математика	Хорда, відсоткове положення центра ваги, маса, масштаб, час польоту.	Виміряти планер, визначити стартовий CG 25–30% хорди, вести таблицю конфігурацій.

ВАЖЛИВО

У базовій версії OptiWing написання програмного коду не є обов'язковим. Цифрова частина проєкту — симулятор, налаштування EdgeTX/ExpressLRS і резервування конфігурацій. Автопілот, FPV або програмована телеметрія можуть бути окремими поглибленими модулями.



2

Матеріали, інструменти та безпека

Комплект для одного літака й умови безпечної роботи

МАТЕРІАЛИ ТА КОМПЛЕКТУЮЧІ ДЛЯ ОДНОГО ЛІТАКА

№	Найменування	Модель / специфікація	К-ть	Сума, грн / ≈ €	Джерело / примітка
1	Пінопластові планери	50 см: перший навчально-випробувальний, другий для остаточної збірки	2	400 / 7,75	prom.ua
2	Приймач	RadioMaster ER5Ci ELRS	1	1 350 / 26,14	modelistam.com.ua
3	Регулятор ESC	Hobbywing Skywalker 15A V2	1	550 / 10,65	prom.ua
4	Безколекторний двигун	SunnySky X1306S 3100KV	1	600 / 11,62	arduino.ua
5	Пропелери	iFlight Nazgul Cine 3040	1	100 / 1,94	modelistam.com.ua
6	LiPo-акумулятор	Fullymax 7.4V 650mAh Li-Po 2S 20C JST	1	395 / 7,5	modelistam.com.ua
7	Сервоприводи	Power HD 1370A	2	600 / 11,62	arduino.ua
8	Карбонова рейка	6 × 1 × 1000 мм	1	100 / 1,94	leti.com.ua
9	Кріплення й монтажні матеріали	ХТ30, дроти, тяги 0,5/0,8 мм, армований, малярний, ізоляційний і НРХ-скотч, термоклей	1	250 / 4,84	arduino.ua / господарські матеріали
10	Передавач з акумуляторами	RadioMaster Pocket Crush M2 ELRS	1	4 500 / 87,14	fx-drones.com

РЕАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬНИЙ КОШТОРИС

Один повний комплект із двома планерами та RadioMaster Pocket Crush M2 коштує 8 820 грн, або приблизно 170,79 €. Без передавача — 4 320 грн, або приблизно 83,65 €. Чотири робочі комплекти для 4 індивідуальних учасників або 8 учасників у парах — 35 280 грн, або приблизно 683,16 €. Перерахунок виконано за офіційним курсом НБУ 51,6423 грн за 1 € станом на 04.08.2026; доставка не врахована.

ДВА ПЛАНЕРИ — ОБОВ'ЯЗКОВО

Перший планер використовують для першої спроби, відпрацювання різання й монтажу, отримання навичок та експериментальних випробувань. Результати переносять на другий планер, з якого збирають остаточний літальний апарат. Для чотирьох робочих місць потрібно закупити вісім однакових планерів.

КОНТРОЛЬНА КОНФІГУРАЦІЯ

Кошторис складено для реально випробуваного набору компонентів. Під час заміни двигуна, пропелера, ESC, акумулятора або сервоприводів потрібно повторно перевірити сумісність, тягу, споживаний струм, масу, центр ваги та безпечність кріплення.



ІНСТРУМЕНТИ Й ТЕХНОЛОГІЇ

Операція	Інструмент / технологія	Контроль якості
Вимірювання й розмічання	Металева лінійка, кутник, штангенциркуль, тонкий маркер	Вісь симетрії, однакові розміри, запис маси
Різання пінопласту	Модельний ніж, запасні леза, захисна підкладка	Чисті кромки без виривання матеріалу
Пілон і кріплення	Ручний інструмент; 3D-друк або CNC за наявності; клей	Жорсткість, кут, співвісність, можливість заміни
Монтаж електроніки	Паяльна станція, третя рука, термоусадка, мультиметр	Полярність, ізоляція, розвантаження проводів
Кермові поверхні	Шаблон нейтралі, кабанчики, тяги, шарнірна стрічка	Вільний повний хід без заїдання й люфту
Балансування	Точні ваги, опори для CG, переміщення батареї	Маса й положення CG записані в паспорт
Наземний тест	Фіксація моделі, захисні окуляри, мультиметр; ватметр за наявності	Плавний пуск, тяга, вібрація, нагрів, зв'язок
Польовий тест	Відкрита ділянка, маркери меж, вітромір, аптечка	Окрема зона запуску й визначені ролі

ОБОВ'ЯЗКОВІ ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ

- Пропелер встановлюють тільки після завершення налаштування каналів, напрямів, ARM/DISARM і failsafe.
- Після підключення LiPo модель завжди вважають активною. До силової установки не торкаються, навіть коли двигун не обертається.
- З пропелером працює лише наставник або учасник з окремим допуском; люди не перебувають попереду моделі та в площині обертання пропелера.
- LiPo заряджають сумісним балансним зарядним пристроєм на негорючій поверхні, у вогнетривкому чохлі та під наглядом. Пошкоджений або надутий акумулятор не використовують.
- Модельний ніж ведуть від себе, працюють на підкладці, лезо не передають відкритим і не залишають на столі без ковпачка.
- Перший політ виконує або страхує досвідчений пілот. Учасник допускається до моделі після симулятора й повної наземної перевірки.
- Після удару перед повторним запуском перевіряють крило, пілон, вал, пропелер, проводку, батарею, тяги й центр ваги.

СТОП-КРИТЕРІЙ

Будь-який незвичний звук, вібрація, нагрів, запах, пошкодження LiPo, нестійкий зв'язок або неправильний напрям керма означає негайне припинення тесту й від'єднання живлення за безпечною процедурою.



3

Конструкція, електроніка та налаштування

Від планера до готової керованої моделі

БАЗОВА КОНСТРУКТИВНА СХЕМА

Планер. Пінопластовий металний планер із розмахом 49 см використовується як доступна база. Перед роботою перевіряють симетрію крила, хвостового оперення та відсутність прихованих тріщин.

Керування. У базовій версії застосовують елерони та руль висоти. Два мікросервоприводи встановлюють так, щоб тяги були короткими, рухалися без перекосу, а нейтраль задавалася механічно до електронного тримування.

Силова установка. Безколекторний двигун SunnySky X1306S 3100KV з пропелером iFlight Nazgul Cine 3040 розміщують на пілоні над крилом у штовхаючій схемі. Пілон має бути жорстким у польоті, але змінним і ремонтпридатним після удару.

Електроніка. Hobbywing Skywalker 15A V2 живить двигун і через BEC — приймач та сервоприводи Power HD 1370A. Приймач RadioMaster ER5Ci розміщують із захищеною антеною, а дроти фіксують так, щоб вони не потрапляли до пропелера й не заважали тягам.

Акумулятор. Fullymax 7.4V 650mAh Li-Po 2S 20C є головним елементом балансування. Його кріплення має витримувати різке гальмування під час посадки, але дозволяти контрольоване зміщення для встановлення CG.

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ ПІНОПЛАСТОВОГО ПЛАНЕРА

1. Підготовка, кермові поверхні та армування

- Для кожного робочого комплекту обов'язково придбати два однакові планери. На першому відпрацьовують прийоми різання, монтажу й первинні випробування; другий використовують для остаточної збірки з урахуванням отриманого досвіду.
- Елерони та руль висоти вирізають за заводською розміткою, яка зазвичай уже нанесена на крила й хвостове оперення. За результатами випробувань площу кермових поверхонь можна збільшувати, фіксуючи зміну в паспорті літака.
- Рухому поверхню по всій довжині підрізають під кутом, формуючи фаску для вільного ходу, після чого кріплять до крила або оперення армованим скотчем. Шарнір має легко відхилятися в обидва боки на потрібний кут; робочий орієнтир — 30–45° без заїдання та надмірного натягу стрічки.
- Крило додатково підсилюють армованим скотчем і карбоновою рейкою 1 × 6 мм. Рейку вклеюють з нижнього боку приблизно за 10 мм від передньої крайки крила.
- Крило й хвостове оперення за потреби додатково фіксують зубочистками та термоклеєм. Перед проклеюванням обов'язково перевіряють симетрію, взаємну перпендикулярність і відсутність перекосу.

2. Сервоприводи, кабанчики й тяги

- Кабанчики виготовляють 3D-друком і приклеюють двостороннім силіконовим скотчем НРХ. Місця приклеювання мають бути чистими, а кабанчик — стояти без перекосу відносно осі шарніра.
- Сервопривід руля висоти встановлюють у верхньому отворі фюзеляжу для хвостового оперення — у положенні, передбаченому планером для режиму аеробатики, — та фіксують термоклеєм.
- Над крилом у фюзеляжі прорізають гніздо для сервопривода елеронів. Подовжену качалку серви виготовляють 3D-друком.
- Висока посадка серви простіша в установленні, але тяги працюють під кутом; це можна компенсувати вищими кабанчиками. Глибока посадка потребує прорізу у фюзеляжі та крилі, зате наближає серву до площини крила й дозволяє отримати майже горизонтальні тяги зі стандартними кабанчиками.
- Тяги вигинають із пружного сталевого дроту діаметром 0,5 або 0,8 мм. Після монтажу перевіряють механічну нейтраль, однаковість ходу, відсутність люфту, тертя та контакту з корпусом.



3. Пілон, електроніка та балансування

- Пілон двигуна виготовляють 3D-друком. Кут установлення двигуна відносно пілона — 16° ; вісь обертання двигуна спрямовують через передню крайку крила.
- Положення пілона підбирають експериментально: починають від задньої крайки крила й поступово зміщують назад, порівнюючи центрування та дію лінії тяги. Перевірене робоче положення — 50 мм за задньою крайкою крила. Пілон примотують ізоляційною стрічкою, щоб його можна було переміщати або швидко замінити після удару.
- Проводи від двигуна й сервоприводів укладають уздовж корпусу та проклеюють малярним скотчем шириною 20–30 мм. Жоден провід не повинен потрапляти до пропелера, тяг або шарнірів.
- У носовій частині вирізають порожнину для приймача, ESC та акумулятора. Положення компонентів спочатку підбирають без остаточного закріплення, використовуючи акумулятор як головний регульований елемент балансування.
- Якщо переміщення електроніки недостатньо, у самому носі роблять отвір і впресовують дві металеві кульки як баласт. Баласт застосовують тільки після контрольного зважування й перевірки CG та надійно фіксують від випадіння.
- Ліхтар вибирають ізсередини, збільшуючи корисний об'єм для електроніки. Після підключення акумулятора ліхтар установлюють на місце й примотують ізоляційною стрічкою.
- Ніс можна додатково армувати скотчем. Для посилення всього фюзеляжу вздовж корпусу приклеюють карбонову смугу $0,8 \times 5$ мм: під час жорсткого падіння з увімкненим двигуном вона істотно зменшує ризик розлому корпусу.

СПОЧАТКУ — ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ПЛАНЕР

Не переносити розміри й положення вузлів на другий планер автоматично. Після кожного тесту першої заготовки записати положення пілона, величину кермових поверхонь, фактичні кути відхилення, масу, CG та результат планерування або польоту. Лише підтверджені параметри використовувати в остаточній збірці.

ЦЕНТР ВАГИ ТА МАСА

Для першого планерування безпечною початковою точкою є 25–30% хорди крила від передньої крайки з невеликим запасом «на ніс». Це не остаточне число для всіх планерів: фактичне положення уточнюють короткими планерувальними та польовими тестами й записують окремо для кожної конфігурації акумулятора.

КОНТРОЛЬНИЙ ЗРАЗОК

Підтверджена польотна маса робочого літака — близько 150 г. Після заміни мотора, батареї, пілона або підсилення конструкції масу й CG вимірюють повторно.

СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ

Вузол	Підключення / канал	Перевірка
Двигун	Три фазні проводи до ESC	Напрямок обертання перевірити без пропелера
ESC	Силове живлення від LiPo; сигнальний кабель до CH1	Газ із мінімуму; ARM/DISARM; плавний пуск
Серво елеронів	CH2	Відхилення відповідає команді; тример доступний
Серво руля висоти	CH3	Команда «на себе» підіймає руль; тример доступний



Вузол	Підключення / канал	Перевірка
Приймач ER5Ci	Живлення від BEC; ExpressLRS-зв'язок із RadioMaster Pocket	Якість зв'язку та failsafe
LiPo	Через сумісний силовий роз'єм до ESC	Полярність, напруга, фіксація, відсутність пошкоджень

МОДЕЛЬ OPTIWING_FLIGHT У RADIOMASTER POCKET / EDGETX

Перед початком створюють нову модель літака й одразу надають їй унікальну назву OPTIWING_FLIGHT. Непереверений профіль іншої моделі не копіюють: однаковий вигляд літаків не означає однакові напрями серв, кінцеві точки, failsafe або логіку газу.

Параметр	Робоче налаштування	Контроль
Тип і режим	Plane; Mode 2. Лівий вертикальний стік — нецентрований газ.	Газ унизу перед увімкненням і підключенням LiPo.
Радіомодуль	Internal RF — CRSF; External RF — Off. Для PWM-приймача ADC Filter — On.	У меню ExpressLRS відображаються модуль, пакетна частота й телеметрія.
CH1	Газ: $-100...+100$; джерело Thr; trim і subtrim — 0; лінійна характеристика.	У DISARM вихід завжди -100 незалежно від положення стіка.
CH2	Елерони: $-35...+35$; джерело Ail; тример активний.	За командою вправо правий елерон підіймається, лівий опускається.
CH3	Руль висоти: $-100...+50$; джерело Ele; тример активний.	Стік «на себе» підіймає задню крайку руля висоти.
ELRS ARM state	L03 ARMED передати як двопозиційний стан: у ELRS 3.x — через CH5; у ELRS 4.x з EdgeTX 2.11+ можна вибрати Arm using Switch=L03.	Це повідомляє радіолінку стан моделі, але не замінює блокування газу на CH1.
Початковий ехро	CH2 і CH3: орієнтовно 20–30%, після першого польоту скоригувати.	Біля нейтралі керування плавне, повний потрібний хід зберігається.
Передстартові перевірки	Throttle warning — On; контроль SA і SD у положенні Off; правильна модель обов'язкова.	Пульт не дозволяє мовчки почати роботу з активним ARM або піднятим газом.

ЗАФІКСОВАНІ МЕЖИ КОНТРОЛЬНОГО ЛІТАКА

Газ $-100...+100$; елерони $-35...+35$; руль висоти $-100...+50$. Це значення EdgeTX, а не кути в градусах. Після налаштування обов'язково вимірюють фактичне відхилення поверхонь і перевіряють, що серва ніде не впирається.

ОБМЕЖЕННЯ ХОДУ КЕРМОВИХ ПОВЕРХОНЬ

- Спочатку механічно виставити нейтраль: качалка серви близько 90° до тяги, кермова поверхня врівень із крилом або оперенням, довжину тяги підібрати без електронного subtrim.
- Геометрію підбирати отворами качалки й кабанчика: ближче до осі серви — менший і м'якший хід; далі від осі — більший хід і вище навантаження. Значне програмне обмеження не повинно маскувати невдалу механіку.
- Без пропелера повільно відвести кожен стік у всі крайні положення та одночасно перевірити комбінації елеронів і руля висоти. Серва не повинна дзижчати, гальмувати, вигинати тягу або тягнути шарнір після досягнення механічного упору.
- Механічний шарнір має вільно допускати $30\text{--}45^\circ$ у кожен потрібний бік, але робочий хід для перших польотів обмежують значеннями профілю. Якщо літак реагує різко, спочатку зменшують хід і додають ехро, а не послаблюють тяги.



- Реверс каналу змінює напрям, але не виправляє перекошену качалку. Після будь-якого реверсу повторити повну перевірку напрямів і граничних положень.

СТОП-КРИТЕРІЙ СЕРВИ

Дзигання в крайньому положенні, помітний вигин тяги, нагрів, ривки або рух поверхні після відпускання стіка означають надмірний хід чи механічне заїдання. Живлення від'єднують і виправляють геометрію або кінцеву точку до наступного тесту.

EXPRESSLRS: СУМІСНІСТЬ І ПРИВ'ЯЗКА ER5C-I

Що звірити	Вимога	Як перевірити
Діапазон	Передавач і приймач мають бути 2,4 GHz ELRS.	RadioMaster Pocket саме у версії ELRS; ER5C-i — 2,4 GHz.
Major-версія	Перша цифра прошивки ELRS має збігатися: 3.x із 3.x або 4.x із 4.x.	Версію TX дивляться в ExpressLRS LUA/Web UI, RX — у Web UI приймача.
Domain	Однаковий Regulatory Domain на TX і RX.	Не змішувати EU/CE та FCC/ISM-конфігурації.
Binding phrase	Однакова фраза на обох пристроях або ручна процедура Bind.	Фразу не публікувати у відкритій документації.
Model Match	Після завершення первинної прив'язки за бажанням увімкнути з унікальним Receiver ID.	Неправильна модель не повинна керувати літаком; результат перевірити без пропелера.
EdgeTX	Використовувати стабільну сумісну версію; для ELRS 4.x Arm using Switch потрібна EdgeTX 2.11+.	EdgeTX — окрема прошивка; перед оновленням зробити backup, після — наземний тест.

Рекомендована прив'язка через однакову binding phrase є найзручнішою для постійної клубної конфігурації. Для разової ручної прив'язки пульт вмикають, приймач тричі послідовно вмикають і вмикають до режиму подвійного блимання, потім вмикають Pocket, відкривають SYS → TOOLS → ExpressLRS → Bind і чекають постійного світіння індикатора приймача.

- Не оновлювати EdgeTX, внутрішній ELRS-модуль і приймач одночасно без проміжної перевірки. Після кожного кроку підтвердити зв'язок, канали, телеметрію, ARM і failsafe без пропелера.
- Антену ER5C-i розташувати подалі від силових проводів, ESC, двигуна й металевих тяг; не закривати її карбоном і не приклеювати безпосередньо до силової проводки.
- Для PWM-приймача в EdgeTX увімкнути ADC Filter, щоб зменшити тремтіння виходів серв. Після зміни пакетної частоти повторити наземну перевірку зв'язку.
- Перед польотом виконати Range test. Перевірку втрати зв'язку проводити тільки без пропелера: CH1 переходить у мінімум, керма — у заздалегідь погоджене безпечне положення.

КАЛІБРУВАННЯ ГАЗУ ESC NOBBYWING SKYWALKER 15A V2

ТІЛЬКИ БЕЗ ПРОПЕЛЕРА

Калібрування потребує подавання максимального сигналу газу під час підключення LiPo. Пропелер обов'язково знімають, літак фіксують, а процедуру виконує наставник. Калібрування виконують до створення ARM-блокування або в тимчасовій тестовій копії моделі, яку після процедури видаляють.

1. Підготовка CH1 напряму керується стіком Thr; межі -100...+100; trim/subtrim — 0; крива лінійна. Приймач прив'язаний, двигун під'єднаний, пропелер знятий.



2. Верхня точка Увімкнути пульт і перевести газ у +100. Підключити LiPo до ESC. Приблизно через 2 секунди двигун подасть два короткі сигнали — верхню точку прийнято.

3. Нижня точка Одразу перевести газ у -100. ESC подасть кілька коротких сигналів за кількістю LiPo-комірок, а потім довгий сигнал — нижню точку прийнято, регулятор готовий.

4. Контроль Від'єднати LiPo, повернути робочу модель з PREARM/ARM, знову увімкнути систему з газом -100 і без пропелера. Перевірити плавний запуск від нуля та повну зупинку.

Калібрування повторюють після заміни передавача/приймача/ESC або зміни endpoints, trim, subtrim чи напрямку CH1. Якщо при увімкненні чути часті короткі сигнали, ESC не бачить мінімум газу; якщо після двох сигналів відкривається режим програмування — перевіряють напрям CH1 і повторюють процедуру за інструкцією саме до встановленої версії ESC.

ЩО ОЗНАЧАЮТЬ ЗВУКИ ESC

Початкова мелодія підтверджує подавання живлення; короткі сигнали повідомляють кількість LiPo-комірок; довгий сигнал — готовність після розпізнавання мінімального газу. Це не індикація ARM. Дозвіл на обертання пропелера окремо оголошує пульт.

PREARM → ARM → НУЛЬ ГАЗУ: БЕЗПЕЧНА ЛОГІКА

Для RadioMaster Pocket використовують два фізично рознесені самофіксувальні перемикачі: SA — PREARM, SD — ARM. Двигун розблоковується лише після свідомої двоетапної команди та підтвердження, що стік газу вже після ARM перебував у -100. Якщо ARM увімкнули з піднятим газом, CH1 залишається на -100; пілот спочатку опускає стік до нуля і тільки потім може підняти його для запуску.

Елемент	Налаштування EdgeTX	Призначення
L01 THR_ZERO	a<x: V1=Thr, V2=-98	Істина, коли стік фактично в нижньому положенні.
L02 ARM_SET	AND: SA=On і SD=On; AND Switch=L01	Команда встановлення ARM можлива тільки при PREARM, ARM і нулі газу.
L04 ARM_RESET	OR: SA=Off або SD=Off	Будь-яке вимкнення PREARM чи ARM скидає дозвіл.
L03 ARMED	STKY: V1=L02, V2=L04	Запам'ятовує ARM після нуля газу та утримує його під час керування.
CH1, рядок 1	+100% Thr	Нормальна команда газу -100...+100.
CH1, рядок 2	-100% MAX; Switch=!L03; Multiplex=REPLACE	Жорстко замінює газ на мінімум, доки логічний ARM не активний.
Стан ELRS	ELRS 3.x: CH5=100% L03; ELRS 4.x + EdgeTX 2.11+: Arm using Switch=L03	Передає радіосистемі фактичний стан ARMED; мотор і далі захищає CH1.

ПЕРЕВІРКА ЛОГІКИ

Без пропелера: 1) SA Off, SD Off — CH1=-100 за будь-якого газу; 2) SA On, SD On із піднятим газом — CH1 лишається -100; 3) опустити газ до -100 — L03 вмикається; 4) підняти газ — двигун отримує команду; 5) вимкнути SD або SA — CH1 негайно повертається до -100. Якщо хоча б один крок не виконується, пропелер не встановлюють.

ЗВУКОВА ІНДИКАЦІЯ ARM І DISARM

- У Special Functions додати L03 → Play Track → окремий файл armd.wav або український запис «Двигун увімкнено». Відтворення — один раз під час переходу в ARMED.
- Додати !L03 → Play Track → disarm.wav або «Двигун вимкнено». Звук має чітко відрізнятися від ARM і від сигналів ESC.



- За бажанням додати періодичне нагадування «ARM активний» з інтервалом 10–15 секунд, але не перевантажувати ефір під час польоту. Головним індикатором залишається фактичний стан L03 і положення перемикачів.
- Після DISARM фізично залишати SD у положенні Off. Після посадки: DISARM → перевірка зупинки пропелера → від'єднання LiPo; лише потім підхід до моделі.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РЕЗЕРВНІ КОПІЇ

Призначення	Засіб	Що зберегти
Тренування	RC-симулятор літака	Профіль RadioMaster Pocket, вправи, результати тренувань
Передавач	EdgeTX	Backup моделі, inputs, mixes, outputs, rates/expo, timer, special functions
Радіолінк	ExpressLRS Configurator / Web UI	Бєпсію, domain, telemetry, failsafe; без приватного binding phrase
Приймач	Засоби RadioMaster ER5Ci	Фото підключень, channel mapping, перевірену конфігурацію
Креслення	CAD/векторний редактор за потреби	STEP/STL/DXF/SVG/PDF та редагований вихідний файл
Документування	Текст, таблиці, фото й відео	Масу, CG, погоду, конфігурацію, результати та пошкодження

РЕЗЕРВУВАННЯ

Повний backup моделі RadioMaster Pocket створюють до першого польоту й після кожної підтвердженої зміни. Доцільно мати окремі профілі SIMULATOR, OPTIWING_TEST і OPTIWING_FLIGHT.

4

План занять

4 тижні • 3 заняття на тиждень • 24 астрономічні години • субота — основний польотний день

Курс: 4 тижні × 3 заняття × 2 години. Будні — виготовлення, налаштування, ремонт і симулятор; субота — польоти. За несприятливої погоди польові вправи переносять.

№	Коли	Тема заняття	Зміст і діяльність	Результат / контроль
1	Тиж. 1 будні	Будова планера, схема та центрування	Теорія: будова літака, електрична схема, сили в польоті та безпека. Огляд двох планерів. Кидки порожнього планера, добір вантажу й пошук початкового центру ваги.	Планер стабільно планерує; зафіксовані маса, положення вантажу й початковий CG.
2	Тиж. 1 будні	Пайка електроніки та симулятор	Пайка роз'ємів, підключення LiPo–ESC–двигуна, приймача та серв. Перевірка на столі без пропелера. У симуляторі: орієнтація, прямий політ, розворот і швидке прибирання газу.	Електроніка працює без перегріву й помилок; виконана базова серія вправ у симуляторі.
3	Тиж. 1 субота	Кермові поверхні й планування	Теорія керування елеронами та рулем висоти. Вирізання поверхонь за розміткою, фаска, шарніри з армованого скотчу, проклеювання й укріплення літака. За сприятливої погоди — контрольні кидки без мотора.	Керма вільно відхиляються на 30–45°; планер не звалюється й не пікірує під час ручного запуску.
4	Тиж. 2 будні	3D-друк і складання першої версії	3D-друк пілона, кабанчиків і довгої качалки. Монтаж серв, тяг, пілона, приймача, ESC та акумулятора; укладання проводів і попереднє балансування. Повторення вправ у симуляторі.	Перша версія літака механічно зібрана; електроніка доступна для обслуговування; CG перевірено.



№	Коли	Тема заняття	Зміст і діяльність	Результат / контроль
5	Тиж. 2 будні	Радіоналаштування і допуск до польоту	Прив'язка ExpressLRS і перевірка сумісності прошивок; калібрування ESC без пропелера; модель OPTIWING_FLIGHT, канали CH1–CH3, межі ходів, PREARM/ARM, повторний нуль газу, failsafe і range test.	Пройдений повний наземний чеклист; газ запускається тільки за правильною логікою; літак допущено до поля.
6	Тиж. 2 субота	Перші моторні польоти	На полігоні: безмоторні кидки й уточнення CG; прямі польоти з мотором; перші плавні повороти. Після кожної спроби — огляд літака, фіксація тримерів, відео та короткий розбір польоту.	Виконано стабільний прямий проліт і контрольований поворот або складено точний перелік коригувань.
7	Тиж. 3 будні	Ремонт і коригування першої версії	Ремонт крила, носа, пілона, тяг і кріплень. Аналіз відео; коригування CG, положення пілона, осі тяги, тримерів і ходів керм. Тренування кола, коробочки та посадки у симуляторі.	Пошкодження усунено; зміни занесені до паспорта; літак повторно пройшов наземний тест.
8	Тиж. 3 будні	Друга, акуратна версія планера	Складання другого планера з урахуванням випробувань: точніша геометрія, гладкі поверхні, чисті шарніри, охайне прокладання проводів, надійне армування та кращий баланс.	Друга версія зібрана акуратніше за першу; підтверджені симетрія, вільний хід керм і правильний CG.
9	Тиж. 3 субота	Коло, коробочка та посадка	Повторення правил безпеки. Польоти по колу, прямокутний маршрут «коробочка», захід на посадку та посадка. Відпрацювання плавного керування й способів мінімізувати пошкодження при втраті орієнтації.	Виконано кероване коло та захід на посадку; пілот своєчасно прибирає газ і не допускає різких команд.
10	Тиж. 4 будні	Ремонт, обмін досвідом і презентація	Ремонт після польотів; порівняння двох версій; обмін вдалим рішеннями й помилками. Формування пропозицій, що варто покращити. План презентації, добір фото/відео та тренування в симуляторі.	Літак відновлено; підготовлено структуру короткої презентації та перелік власних інженерних висновків.
11	Тиж. 4 будні	Фінальна підготовка та самостійність	Контрольне обслуговування й технічне приймання. Учасник самостійно проходить передпольотний чеклист, пояснює ARM/DISARM, перевіряє керма, CG і failsafe; репетирує презентацію та посадку в симуляторі.	Учасник без підказок готує літак до запуску й безпечно завершує роботу; проєкт готовий до фіналу.
12	Тиж. 4 субота	Фінальні польоти та завершення проєкту	Фінальні й демонстраційні польоти за погодою; передача літака дитині для подальшої самостійної роботи. Презентації літаків і набутих навичок, обговорення, піца, дружня зустріч із батьками та друзями, вручення сертифікатів і подарунків.	Проєкт захищено; безпечні навички підтверджено; літак передано учаснику; курс завершено нагородженням.

5

Складання, випробування та накопичений досвід

Практична інструкція й висновки з реальних польотів

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ

- Дві заготовки** Промаркувати перший планер як навчально-випробувальний, другий — як остаточний; зважити, оглянути й порівняти їхню симетрію.
- Експериментальне компонування** На першому планері розкласти двигун, ESC, приймач, сервоприводи й батарею без клею; оцінити центр ваги, доступ до обслуговування та можливість зміщення пілона.
- Кермові поверхні й крило** Вирізати керма за розміткою, сформувати фаску й шарніри зі скотчу, забезпечити хід 30–45°; підсилити крило карбоновою рейкою 1 × 6 мм за 10 мм від передньої крайки.
- Сервоприводи** Установити хвостову серву у верхній отвір, вибрати високу або глибоку посадку серви елеронів, приклеїти 3D-друковані кабачки HPX-скотчем і вигнути тяги з дроту 0,5/0,8 мм.



5. Пілон Установити 3D-друкований пілон із кутом двигуна 16°; почати від задньої крайки, випробувати зміщення назад і зафіксувати перевірений орієнтир 50 мм ізоляційною стрічкою.

6. Електроніка Підготувати роз'єми, виконати пайку й ізоляцію, під'єднати ESC, приймач і серви; пропелер не встановлювати.

7. Радіоналаштування Звірити ELRS-версії й domain; відкалібрувати ESC без пропелера; створити OPTIWING_FLIGHT, перевірити канали, ходи, PREARM/ARM із повторним нулем газу, звуки, телеметрію та failsafe; зробити backup.

8. Фінальне компонування Вирізати порожнину в носі й ліхтарі, закріпити батарею, ESC, приймач і проводку; проводи проклеїти малярним скотчем, ліхтар — ізоляційною стрічкою.

9. Баланс і армування Виміряти масу й CG; за потреби надійно встановити дві металеві кульки в носі, армувати ніс скотчем або фюзеляж карбоною смугою 0,8 × 5 мм; додати контрастне маркування.

10. Приймальні тести Послідовно пройти механіку, електрику без пропелера, керування, силову установку, планерування та польовий тест.

КРИТЕРІЇ ГОТОВНОСТІ

 ОБЛАДНАННЯ 		 ІНСТРУМЕНТИ 	 ЕЛЕКТРОНІКА 	 ПРОГРАМУВАННЯ 
Етап	Метод		Критерій	
Механіка без живлення	Симетрія, шарніри, хід 30–45°, тяги, кабанчики, армування, пілон, батарея		Немає тріщин, люфту й заїдання; все зафіксовано	
Електрика без пропелера	Полярність, напруга ВЕС, серви, телеметрія		Немає перегріву й просадки; серви не дзижчать у нейтралі	
Керування	Напрями, –35...+35 і –100...+50, trim, PREARM/ARM, повторний нуль газу, failsafe		Серви не впираються; газ розблоковується лише за заданою логікою	
Силовa установка	Плавний розгін, тяга, вібрація, нагрів		Достатня тяга без небезпечної вібрації; ESC і мотор у нормі	
Планерування	Безмоторний кидок або тест досвідченим наставником		Стабільне планерування без різкого кабрування чи пікірування	
Політ	Запуск, прямий політ, розвороти, зниження, посадка		Керований політ; тримери й результат записані	

ПЕРЕДПОЛЬОТНИЙ ЧЕКЛИСТ

- Корпус, крило, хвіст і пілон без тріщин; пропелер і вал не пошкоджені.
- Кабанчики й тяги зафіксовані; елерони та руль висоти вільно рухаються.
- Вибрано OPTIWING_FLIGHT; газ –100; SA/PREARM і SD/ARM вимкнені; пульт не показує попереджень.
- LiPo не пошкоджений, заряджений, надійно закріплений; CG відповідає паспорту.
- Після підключення живлення перевірені напрями всіх керм і телеметрія.
- Майданчик вільний, визначено напрям запуску, межі польоту, пілота й асистента.
- Перед запуском: SA/PREARM → SD/ARM → підтвердження звуком → газ через –100. Після посадки перша дія — SD/ARM Off.



РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

ПІДТВЕРДЖЕНО ПОЛЬОТОМ

Літак масою близько 150 г стабільно літає й добре керується. Hobbywing Skywalker 15A V2 забезпечив помітно кращу тягу та плавний пуск. Після тренування в симуляторі пілот відчуває модель значно впевненіше.

Подія / ознака	Причина або гіпотеза	Висновок для методики
Під час польового дня відірвалося крило	Ударне навантаження під час невдалої посадки або зіткнення	Підсилювати вузол локально й без надмірної маси; після ремонту повторно перевірити симетрію та CG.
Після падіння носом відірвало пілон	Пілон прийняв удар і став слабкою ланкою	Робити пілон змінним із прогнозованим руйнуванням; зберігати запасну деталь і шаблон установлення.
Модель погано видно на відстані	Малий розмір і слабка відмінність верху/низу	Контрастне маркування виконувати до першого польоту; не відпускати літак за межі впевненої орієнтації.
Новачку складно визначити напрям	Відсутній реальний досвід пілотування	Симулятор обов'язковий; перші польоти — у спокійну погоду, на ближньому колі та зі страхуванням наставника.
Потрібний плавний пуск і достатня тяга	Попередній ESC гірше узгоджувався із силовою установкою	Зафіксувати Hobbywing Skywalker 15A V2 як перевірений компонент контрольної версії.

РЕКОМЕНДАЦІЇ НАСТУПНІЙ ГРУПІ

- Виконувати яскраве орієнтаційне маркування ще під час складання, а не після першої втрати видимості.
- Фотографувати положення CG для кожної батареї та не переносити числове значення з іншого планера без перевірки.
- Не робити всю конструкцію максимально міцною: дешевий змінний пілон краще захищає планер від серйозного пошкодження.
- Мати на польовому дні запасний пропелер, пілон, тяги, кабанчики, стрічку й сумісний клей.
- Зберігати окремі профілі RadioMaster Pocket для симулятора й польоту; тимчасову модель калібрування ESC після перевірки видаляти.
- Після кожного польового заняття проводити короткий технічний розбір, ремонт і повторний приймальний тест.



6

Завершення проєкту та методичний пакет

Індивідуальний або командний результат, оцінювання й матеріали для повторення

КРИТЕРІЇ УСПІШНОГО ЗАВЕРШЕННЯ

- Літак зібраний, промаркований, має записані масу, конфігурацію та центр ваги.
- Кермові поверхні працюють без заїдань і в правильних напрямках; механіка не має небезпечного люфту.
- Газ розблоковується лише після PREARM → ARM і повторного проходження стіка через –100; DISARM гарантовано зупиняє двигун, failsafe перевірений без пропелера.
- Силовa установка плавно розганяється, не створює небезпечної вібрації та не перегрівається під час наземного тесту.
- Модель виконує керований політ і безпечну посадку або підтверджує стабільний політ під контролем досвідченого пілота.
- Учасник самостійно проходить передпольотний чеклист, пояснює ключові рішення та правила LiPo/пропелера.
- Збережено резервну копію налаштувань, фото конструкції, протокол випробувань і коротке відео результату.

ОЦІНЮВАННЯ

Критерій	Частка	Ознаки виконання
Безпека й дисципліна	25%	Дотримується процедур LiPo, пропелера, PREARM/ARM/DISARM, інструментів і польової зони.
Якість конструкції	20%	Симетрія, чисте складання, надійні кріплення, вільні керма, ремонтпридатність.
Електроніка й налаштування	20%	Правильні підключення, канали, напрями, failsafe, backup і пояснення схеми.
Випробування й аналіз	20%	Виконує чеклисти, записує масу/CG, аналізує політ і виправляє несправності.
Особистий внесок і презентація	15%	Показує власну роботу, пояснює рішення й демонструє готовий виріб.

ПЕРЕДАЧА ІНДИВІДУАЛЬНОГО АБО КОМАНДНОГО ВИРОБУ

Перед передачею	Підтвердження
Комплектність	Літак, визначені змінні компоненти, запасні деталі, кріплення та коротка інструкція.
Стан	Приймальний тест пройдено; відомі дефекти й обмеження записані.
Ідентифікація	Номер UR-KhDA, версія механіки, електроніки та конфігурації.
Безпека	Учасник пояснює PREARM → ARM → нуль газу, DISARM, заряджання, зберігання й аварійні дії.
Цифрові матеріали	Документація, backup і медіа доступні; приватні ключі не публікуються.



РЕЗУЛЬТАТ УЧАСНИКА

Індивідуально: до 4 учасників, кожен отримує власний літак із паспортом. У парному форматі: до 8 учасників, 4 команди й один літак на команду. Особистий внесок і ролі фіксують у паспорті виробу.

СТРУКТУРА ГОТОВОГО МЕТОДИЧНОГО ПАКЕТА

Папка / файл	Що містить
00_ПОЧАТИ_ЗВІДСИ.pdf	Короткий опис, результат, порядок використання матеріалів і навігація пакетом.
01_Documentation	Методичний посібник DOCX/PDF, специфікація матеріалів, чеклисти й протокол випробувань.
02_Models_and_Drawings	STEP/STL, креслення пілона, шаблони кермових поверхонь, DXF/SVG/PDF за наявності.
03_Electronics_and_PCB	Схема підключення та фотографії монтажу. Папка PCB не створюється, якщо власної плати в проєкті немає.
04_Firmware_and_Software	Backup EdgeTX, налаштування ExpressLRS/ER5Ci без приватних ключів, симулятор і потрібні утиліти.
05_Photo_and_Video	Фото етапів складання, готового літака, ремонту та відео наземних і польових випробувань.

РЕКОМЕНДАЦІЇ НАСТАВНИКУ

- До курсу зібрати контрольний літак і перевірити повний цикл: компонування, налаштування, наземний тест, політ і ремонт.
- Підготувати однакові комплекти або промарковані перевірені аналоги; критичні параметри не залишати на імпровізацію.
- Небезпечні операції: демонстрація, робота під наглядом, контрольована самостійна дія.
- Оцінювати не лише політ, а й документацію, безпеку, монтаж, пояснення рішень і ремонт.
- Поломки розбирати як навчальний кейс: причина, ремонт, повторний тест.

НАСТУПНА ВЕРСІЯ OPTIWING

- Додати фото маркування компонентів і перевірені посилання на постачальників.
- Стандартизувати змінний пілон: STEP/STL/DXF, кут, отвори й контрольний шаблон.
- Розробити висококонтрастне маркування серії UR-KhDA.
- Вести статистику: вітер, батарея, маса, CG, тримери, час, посадка, пошкодження й ремонт.
- Модуль FPV/телеметрії розробляти окремо після перерахунку маси, живлення, CG і безпеки.

OPEN STEM / ERASMUS+

OptiWing реалізує Work-Based Learning: від інженерної задачі до реального виробу, випробування, ремонту та відтворюваної документації для інших клубів.