ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ МОЛОДЁЖИ

«МЕНЯ ОЦЕНЯТ В XXI ВЕКЕ»

Направление:
Техническое Творчество
Тема: Автономный полёт человека: летательный аппарат «Ночной орел»

Соискатель: Изиланов Максим Николаевич, обучающийся ЦЦО «IT-куб»
Папулов Максим Алексеевич, обучающийся ЦЦО «IT-куб»

Научный руководитель: Зубов Павел Борисович
педагог дополнительного образования
высшей категории ЦЦО «IT-куб»

Место выполнения работы: ГАНОУ СО «Дворец Молодёжи» ЦЦО «IT куб»

г. Екатеринбург

2026

АННОТАЦИИ

Работа посвящена разработке экспериментального бесхвостого летательного аппарата «Ночной орёл» и поиску подходящей схемы его управления. Проект — это самостоятельная инженерная идея, которая разрабатывается без ориентации на готовое прикладное изделие. Основной интерес представляет создание компактной конструкции, а также проверка различных вариантов управления.

На первом этапе была изготовлена модель масштаба 1:5. Она позволила выполнить предварительную проверку общей компановки и управления элевонами, однако качество изготовления и степень конструктивной проработки оказались недостаточными для получения надёжных количественных результатов. В этот период полноценной 3D-модели конструкции также не было, поэтому дальнейшее развитие данного прототипа было прекращено.

Следующим этапом стала разработка модели масштаба 1:2 с более подробной 3D-проработкой. В конструкции предусмотрены четыре электродвигателя, два из которых должны быть поворотными. На данном этапе продолжается разработка самой конструкции и механизма поворота двигателей.

Одним из центральных вопросов исследования стало предположение о том, что эффективная векторная тяга может обеспечить существенную часть управляющих воздействий и, возможно, уменьшить необходимость использования элевонов.

Новизна работы заключается не в создании готового персонального летательного аппарата, а в исследовании собственной компановки и последовательном сравнении инженерных решений на разных этапах её разработки.

Текущий результат работы — сформированная конструктивная схема, проработанная часть 3D-модели 1:2, предварительные расчёты и методика будущих испытаний. Окончательные выводы об эффективности векторной тяги могут быть сделаны только после завершения модели 1:2 и проведения серии экспериментов.

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИИ 2
СОДЕРЖАНИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ И АНАЛОГОВ 6
1.1. История развития персональных летательных аппаратов и анализ аналогов 6
1.2. Идея создания, технические особенности и требования к аппарату 7
2. РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛИ 10
2.1. Этапы разработки 10
2.2. Используемые материалы и компоненты 10
2.3. Изготовление прототипов (масштабы 1:5 и 1:2) 11
2.4. Испытания модели и анализ результатов 14
2.5. Текущий статус проекта 14
2.6. Планы на будущее и масштабирование 15
2.7. Расчёты силовой установки и несущих характеристик (модель 1:2) 16
2.8. Рассмотренная конструктивная альтернатива - схема биплан 18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 20
Список литературы 21

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке технологии персонального воздушного транспорта становятся всё более актуальными. Инженеры и разработчики по всему миру работают над созданием компактных летательных аппаратов, способных обеспечить человеку быстрое перемещение по воздуху. Подобные технологии могут изменить представление о транспорте будущего. Появление таких проектов стало возможным благодаря технологическому прогрессу последних лет: доступности мощных бесколлекторных электродвигателей, лёгких LiPo-аккумуляторов, компактных полётных контроллеров, 3D-печати и систем автоматизированного проектирования (CAD). Ещё несколько десятилетий назад создание подобного аппарата было по силам только крупным организациям, сегодня же его может разработать небольшая команда.

Проект «Ночной орёл» посвящён разработке персонального летательного аппарата, который сочетает в себе компактность, высокую манёвренность и современные системы управления. Главной особенностью проекта является использование гибридной системы управления, включающей элевоны и векторную тягу.

Проблематика — противоречие между растущей потребностью в персональной мобильности и недостаток простых, безопасных и недорогих решений.

Гипотеза. Человек не может летать за счет собственной мышечной силы без индивидуального специального летательного аппарата.

Актуальность проекта. На сегодняшний день в мире существует ограниченное количество компактных аппаратов, приспособленных для самостоятельного полета человека большинство существующих моделей имеют высокую стоимость сложную конструкцию или недостаточную безопасность Актуальность проекта обусловлена ростом количества беспилотных летательных аппаратов появление новых материалов, возможностью даже школьнику спроектировать работающий макет, если он обладает навыком инженерного творчества, программирования и знаниями в области среды аэродинамики.

Практическая значимость. Результаты работы (компоновка с гибридным управлением, данные испытаний модели 1:5, расчеты методика испытаний модели 1:2) могут быть использованы при разработке компактных экспериментальных летательных аппаратов в качестве основы для масштабирования до пилотируемой версии. Применённый подход быстрого прототипирования на основе 3D-печати и CAD-моделирования доступен для учебных и любительских проектов. Практическая значимость проекта состоит также в развитии инженерных компетенции авторов: навыки проектирования моделирования. Данный проект — часть портфолио автора, готовый кейс для участия в конкурсах.

Объект исследования: процесс проектирования специального устройство для полёта человека в автономном режиме.

Предмет исследования: процессы полёта человека в автономном режиме с помощью специального устройства.

Цель проекта: разработка и тестирование масштабируемой модели персонального летательного аппарата, способного стать основой для создания полноразмерного пилотируемого устройства.

Задачи работы:

1. Изучить существующие персональные летательные аппараты и способы их управления.
2. Рассмотреть альтернативные схемы (в том числе биплан) и обосновать выбор моноплана.
3. Проанализировать результаты модели 1:5 и выявить её ограничения.

4. Разработать подробную 3D-модель 1:2 с определением мест лонжерона и соединительных элементов.
5. Разработать поворотный механизм и крепление двигателей.
6. Выполнить предварительные расчёты крыла, тяги, скорости сваливания и центровки.
7. Подготовить методику испытаний, включая проверку самостоятельного старта с поверхности Земли.
8. После испытаний сравнить варианты управления и определить необходимые доработки.

Методы исследования: анализ аналогов и технических решений, 3D-моделирование, инженерные расчёты, изготовление деталей методом 3D-печати, предварительные натурные испытания и последующее сравнение результатов.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ И АНАЛОГОВ

1.1. История развития персональных летательных аппаратов и анализ аналогов

Разные варианты персональных летательных аппаратов разрабатывались уже много лет. Они отличаются способом создания подъемной силы, наличием крыла и способом управления.

Первые попытки создать индивидуальные летательные устройства предпринимались ещё в середине XX века. Самым известным примером стал американский реактивный ранец Bell Rocket Belt (1960-е годы). Он позволял человеку подниматься в воздух, но время полёта составляло всего около 30 секунд, а расход топлива был огромным.

В начале XXI века появились более совершенные системы, такие как Jetman и Human Flight. Их создатели (Ив Росси, Винсент Реффет и другие) разработали крылья с реактивными двигателями, которые позволяют лететь со скоростью до 300 км/ч. Однако эти аппараты сложны в управлении, требуют сброса с самолёта для старта и стоят миллионы долларов.

Параллельно развивались мультикоптеры (например, Ehang 184, Volocopter). Они более устойчивы, но имеют громоздкую конструкцию и ограниченную манёвренность. Электродвигатели и лёгкие композиты постепенно делают персональные ЛА доступнее, но задача создания компактного, манёвренного и безопасного аппарата остаётся нерешённой.

1. Bell Rocket Belt (США, 1960-е)

Ракетный ранец (рис.1.1) на перекиси водорода, тяга до ~127 кг. Полёт — всего 21 секунда, дальность ~264 м, скорость до ~60 миль/ч. Управление вектором тяги вручную. Минус: при отказе двигателя посадка невозможна — высота полёта слишком мала для парашюта.



Рис. 1.1

2.Hiller Flying Platform (США, 1950-е)

Платформа с двумя соосными винтами (рис. 1.2), вертикальный взлёт, возможность зависания на месте. Управление осуществлялось наклоном тела пилота. Минус: ограничения горизонтального полёта и повышенные требования к управлению.



Рис. 1.2

3. Jetman / Human Flight (Швейцария, с 2006 г.)

Жёсткое крыло с 4 мини-турбореактивными двигателями (рис. 1.3), скорость 200–300 км/ч, полёт 5–10 минут, посадка на парашюте. Взлёт — только прыжком из самолёта/вертолёта/шара, автономного старта с земли нет.



Рис. 1.3

4. Ehang 184 (Китай)

Мультикоптер-такси (рис. 1.4), масса 240 кг, нагрузка до 100 кг, скорость 60 км/ч, полёт 23–25 минут, автономное управление, вертикальный взлёт/посадка. Минус: громоздкость и вес, нулевая ручная манёвренность.



Рис. 1.4

5. Volocopter VoloCity (Германия)

18 фиксированных роторов, взлётная масса до 1000 кг, нагрузка 200 кг, скорость до 100 км/ч, полёт до 35 минут, высокая избыточность систем безопасности. Тот же класс, что Ehang, но пилотируемый и крупнее (Рис.1.5).



Рис. 1.5

Таблица 1: сравнения аналогов

Аналог	Плюсы	Минусы
Bell Rocket Belt	Простота, компактность, реальный человек в воздухе	Полёт 21 сек, нет безопасной посадки при отказе
Hiller Flying Platform	Вертикальный взлёт, зависание	Ограничения горизонтального полёта
Jetman	Высокая скорость (200–300 км/ч), реальное крыло с планированием	Нет старта с земли, сложное управление, полёт лишь 5–10 мин
Ehang 184	Вертикальный взлёт, автономность, хорошая нагрузка (100 кг)	Громоздкий (240 кг), нет ручной манёвренности
Volocopter	Пилотируемый, безопасность за счёт 18 роторов, до 35 мин полёта	Крупный (до 1000 кг), низкая скорость, не персональный формат

Вывод: ни один аналог не сочетает три ключевых качества одновременно — компактность, старт с земли (без сброса с самолёта) и приемлемую манёвренность на разных скоростях. Bell Rocket Belt и Jetman дают скорость и лёгкость, но жертвуют временем полёта или простотой взлёта; Ehang и Volocopter решают проблему вертикального взлёта, но ценой веса и потери персональной манёвренности. Это и обосновывает разработку собственной гибридной схемы «Ночного орла» — крыло с элевонами и векторной тягой, рассчитанное на старт с земли и управляемый полёт на разных скоростях.

1.2. Идея создания, технические особенности и требования к аппарату

Идея «Ночного орла» появилась из интереса к персональным летательным аппаратам и желания сделать что-то своё. Изначально проект не был связан с конкретной практической задачей или готовым техническим заданием.

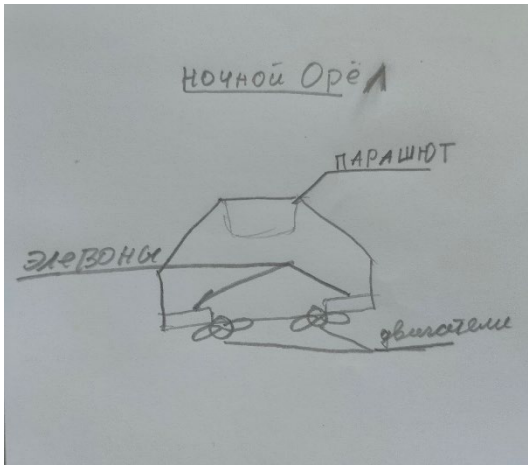


Рис. 2: первый эскиз проекта

Изучение проектов джетменов натолкнуло на идею полёта с использованием крыла и двигателей. Однако было замечено, что джетмены не могут зависать или маневрировать на малых скоростях, а взлёт и посадка для них очень сложны.

Было решено создать собственный летательный аппарат, который бы сочетал:

- крыло с элевонами (для устойчивости в горизонтальном полёте);
- векторную тягу (поворотные двигатели) для манёвренности при взлёте, посадке и на малых скоростях.

Такая гибридная система позволяет получить лучшее из двух миров: элевоны работают на крейсерских режимах, а поворотные двигатели помогают при манёврах. Акцент проекта сделан на безопасность: предусмотрен аварийный режим (полёт только на элевонах при отказе поворотной системы) и возможность установки парашюта.

Ещё одной ключевой идеей стала масштабируемость: начать с модели 1:5 для отработки концепции, затем перейти к модели 1:2, а в перспективе – к полноразмерному пилотируемому прототипу. Такой подход позволяет выявить и исправить недостатки на ранних стадиях с минимальными затратами.

Конструкция. Аппарат выполнен по схеме «ранцевое крыло»: пилот (в перспективе) или полезная нагрузка крепятся к конструкции, к которой также присоединены четыре электродвигателя. Два передних двигателя статические, два задних – поворотные (векторная тяга). Крыло имеет подвижные элевоны.

Система управления. Управление осуществляется с помощью одной ручки (пульта). Полётный контроллер автоматически согласовывает работу элевонов и поворотных двигателей. Предусмотрены три режима:

- только элевоны (аварийный);
- только векторная тяга (для проверки);
- гибридный (основной) – элевоны отвечают за устойчивость, поворотные двигатели – за манёвренность.

Таблица 2: Сравнение 3-х систем управления

Схема	Потенциальное преимущество	Что предстоит проверить
Только элевоны	Простая схема, уже использованная на 1:5	Ограниченная управляемость на малых скоростях
Только векторная тяга	Позволяет напрямую изменять направление силы тяги	Эффективность и устойчивость не проверены
Элевоны + векторная тяга	Распределение функций между двумя системами	Более сложная механика и настройка

Основные технические характеристики прототипа 1:5:

- Размах крыла: 560 мм
- Грузоподъёмность: 400 г
- Время полёта (расчётное): до 5 минут

Основные проектные параметры модели 1:2 (в разработке):

- Размах крыла – 1500 мм, корневая хорда 820 мм, концевая хорда 300 мм.
- Профиль крыла – Fauvel 14%.
- Четыре двигателя: два передних статических, два задних поворотных.
- Ожидаемая взлётная масса 3–5 кг, полезная нагрузка до 5 кг.

Требования к прототипу:

- Тяга на электродвигателях.
- Управление с одной ручки через полётный контроллер.
- Аварийный режим – полёт только на элевонах при отказе поворотных двигателей.
- Возможность установки парашюта для мягкого приземления.
- Время полёта не менее 5 минут на модели 1:5 с масштабированием до 50+ минут для полноразмерной версии.

2. РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛИ

2.1. Этапы разработки

Разработка велась поэтапно:

1. **Поиск информации и анализ аналогов** – изучены проекты Bell Rocket Belt, Jetman, Human Flight, мультикоптеры, собраны данные по аэродинамике и системам управления.
2. **Аэродинамические расчёты** – выполнены приближённые расчёты несущей способности крыла, необходимой тяги, центровки.
3. **Создание эскизов и 3D-моделей** – разработана 3D-модель в CAD-программе (Fusion 360), определены размеры, расположение двигателей и место для электроники.
4. **Подбор материалов и компонентов** – выбраны двигатели, аккумуляторы, регуляторы, сервоприводы, полётный контроллер, пластик PETG для печати, пенопласт и текстолит.
5. **Изготовление прототипа 1:5** – изготовлены статические крепления двигателей, собран корпус из пенопласта, смонтирована электроника. Поворотный механизм на данной модели не устанавливался.
6. **Проведение испытаний** – тестирование управляемости только с помощью элевонов (так как векторная тяга отсутствовала). Сбор данных о манёвренности и устойчивости.
7. **Анализ результатов и доработка** – выявлена недостаточная манёвренность на одной паре элевонов, принято решение о переходе к модели 1:2 с улучшенной схемой (два статических двигателя спереди, два поворотных сзади).
8. **Начало работ над моделью 1:2** – проектирование, печать крупных деталей, изготовление поворотного механизма.

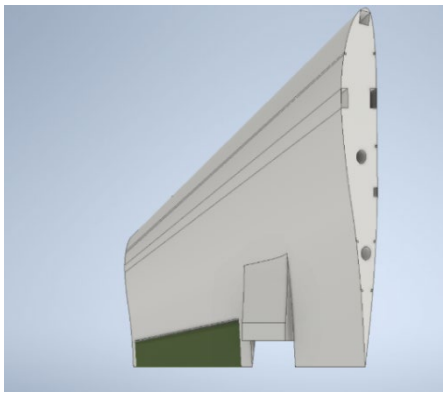


Рис. 3.1: начало работ над 3D моделью



Рис 3.2: начало работ над чертежом

2.2. Используемые материалы и компоненты

Компоненты и материалы для модели 1:5:

- **Пенопласт** – основной материал для крыла и корпуса, обеспечивает малый вес и простоту обработки.
- **Пластик PETG** – используется для 3D-печати силовых деталей: поворотных механизмов, креплений двигателей, отсека для электроники. PETG выбран за прочность, ударную вязкость и термостойкость.
- **Древесина** – применяется для усиления в местах соединений и жёсткости конструкции.
- **Текстолит** – служит основанием для крепления двигателей.
- **Клеевые соединения** – используются для фиксации элементов.

Таблица 3.1: комплектующие модели 1:5

Электродвигатели	X4108 kv380
Аккумулятор	1300 mah, 3s
Регулятор	20A
Приёмник	FlySky FS-IA6B

Таблица 3.2: характеристики модели 1:2 (в процессе изготовления)

Параметр	**Текущее решение**
Размах крыла	1500 мм
Корневая хорда	820 мм
Концевая хорда	300 мм
Площадь крыла	около 0,84 м²
Профиль	Fauvel 14%

Таблица 3.3: компоненты для модели 1:2

Двигатели	2 фиксированных + 2 поворотных DYS D3548 1100KV (4 шт.)
Аккумулятор	LiPo 3000 mAh, 4S
Регуляторы	80 A, 4 шт.
Полётный контроллер	Matek F405 Wing V2
Приёмник	Radiomaster ER8G ELRS
Сервоприводы	JX PDI-6221MG
Алюминиевые трубы	силовой элемент, на который насаживаются две половины корпуса
Пластик	PETG для 3D печати

Все материалы и компоненты подобраны с учётом минимизации веса при сохранении прочности и энергоэффективности

2.3. Изготовление прототипов (масштабы 1:5 и 1:2)

Модель 1:5 (завершена)

- Размах крыла – 560 мм.
- Установлены два задних электродвигателя (статическое крепление без поворота). Передние двигатели на модели 1:5 не предусматривались.
- Двигатели смонтированы на крепления, вырезанные из текстолитовой пластины.
- Корпус вырезан из пенопласта, усилен деревянным лонжероном, передняя кромка сделана из бальзы.
- Для оценки масштаба и центровки напечатан макет человека высотой 180 мм.
- Сборка заняла около 4 недель.

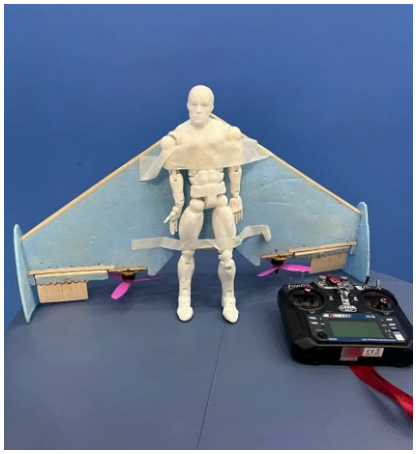


Рис. 4.1: вид спереди



Рис. 4.2: вид сверху

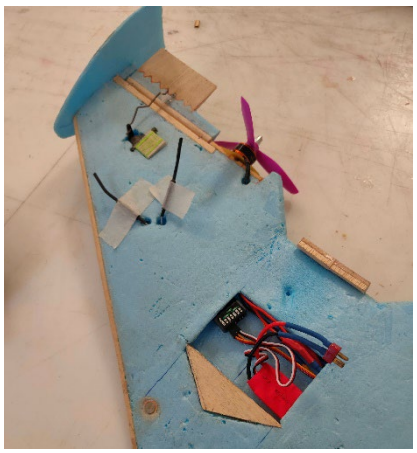


Рис. 4.3: вид сверху

Модель 1:2 (в процессе изготовления)

- Размах крыла – 1500 мм. Профиль – Fauvel 14%. Корневая хорда 820 мм, концевая 300 мм, форма трапециевидная с сужением.
- Конструкция выполняется по 3D-модели. Определены места лонжерона и соединительных элементов. Корпус собирается из двух половин, которые насаживаются на две алюминиевые трубы — это упрощает сборку и перевозку модели.
- Предполагается четыре двигателя: два передних статических и два задних поворотных (векторная тяга).
- Поворотный механизм находится в стадии разработки, на модели 1:5 не испытывался.
- Ведётся 3D-печать деталей (PETG) и сборка корпуса.
- Для отработки центровки и имитации нагрузки напечатан макет человека высотой 900 мм (масштаб 1:2).
- Ожидаемая грузоподъёмность – до 5 кг (с имитацией веса пилота).

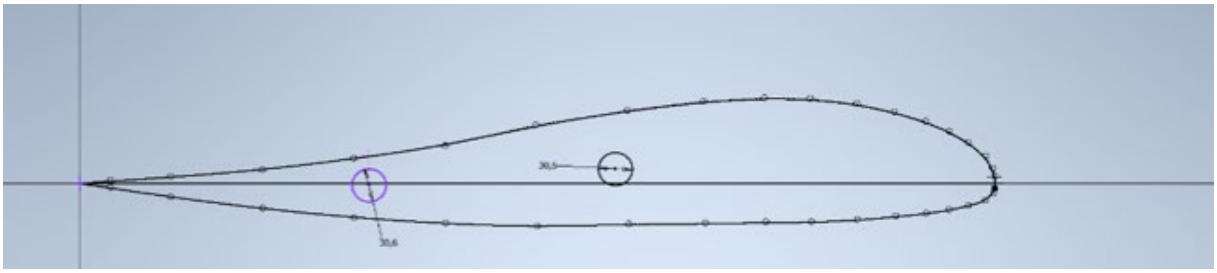


Рис. 5: фотография профиля Fauvel 14%, с отверстиями под соединения



Рис. 5.2: макет пилота модели 1:2

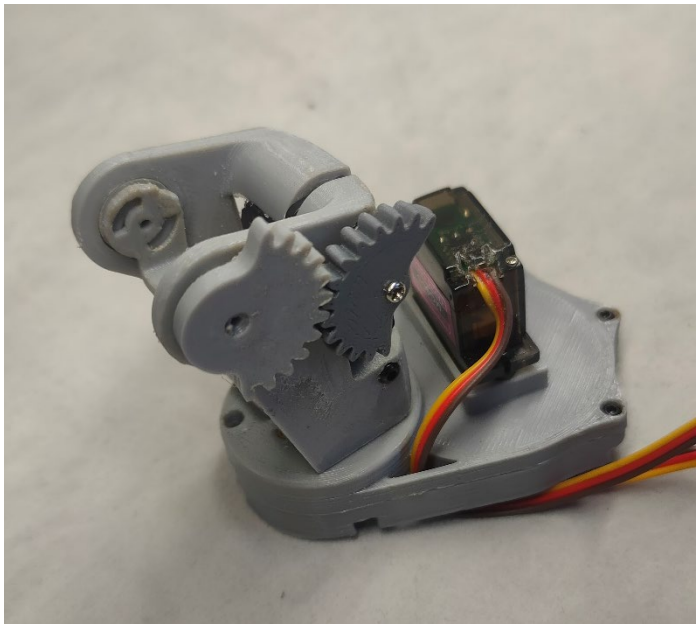


Рис. 5.3: прототип поворотного механизма

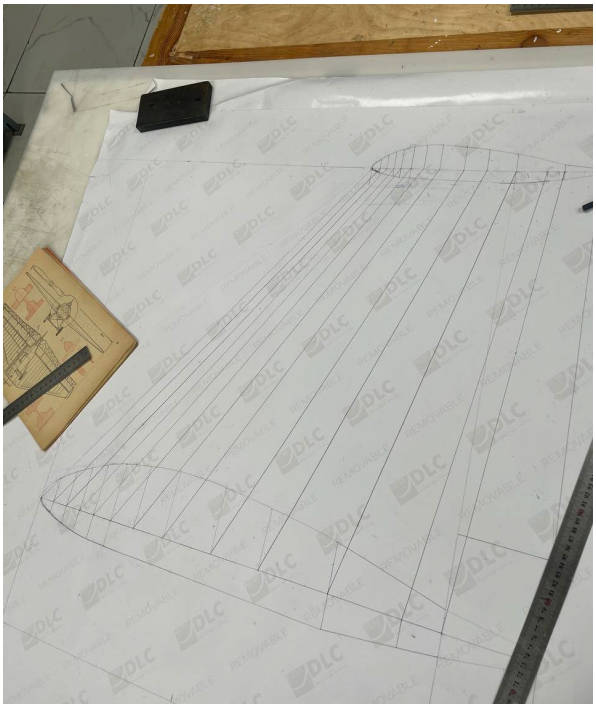


Рис. 5.4: работа над чертежом модели 1:2

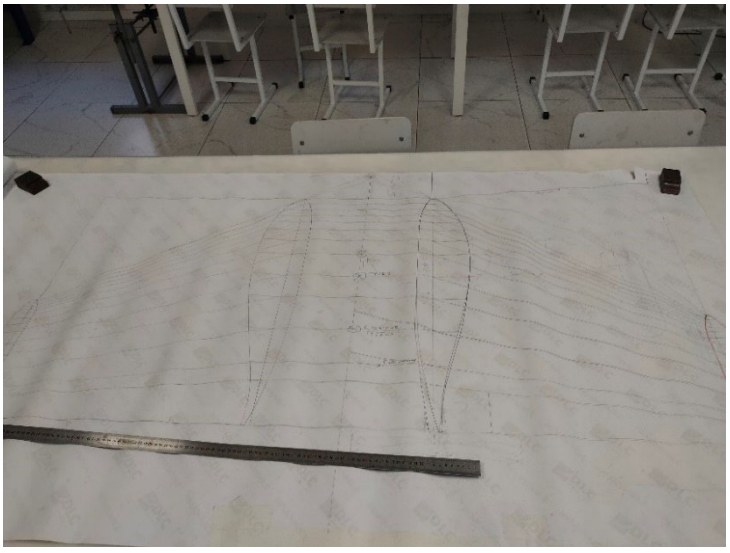


Рис. 5.5: натуральный чертеж модели 1:2

2.4. Испытания модели и анализ результатов

Испытания проводились только на модели 1:5, так как модель 1:2 ещё не завершена. На модели 1:5 отсутствовал поворотный механизм – двигатели были зафиксированы. Оценивалась эффективность управления только с помощью элевонов.

Результаты испытаний:

- Манёвренность модели недостаточна, особенно на малых скоростях.
- Наблюдается вялая реакция на команды рысканья и крена.
- При попытке активного манёвра возникает пикирующий момент (нос аппарата опускается), что снижает управляемость.

Вывод: для достижения приемлемой манёвренности необходимо использовать гибридную систему (элевоны + векторная тяга). Поэтому на модели 1:2 будет реализована схема с двумя поворотными задними двигателями. Аварийный режим (полёт только на элевонах) теоретически обоснован и будет проверен на модели 1:2.

2.5. Текущий статус проекта

- Модель 1:5 полностью изготовлена, успешно прошла испытания (с ограничениями, описанными в разделе 2.4).
- На основе выводов спроектирована новая схема для модели 1:2 (4 двигателя: 2 стат. + 2 поворотных).
- Ведётся 3D-моделирование, подготовка к печати деталей корпуса модели 1:2. Определены места лонжерона и соединительных элементов, выбран способ соединения двух половин корпуса на двух алюминиевых трубах.
- Поворотный механизм находится в стадии разработки (проектирование и изготовление опытных образцов). Испытания механизма планируются после сборки модели 1:2.
- Текущая цель – собрать модель 1:2 и проверить её несущие свойства и управляемость с имитацией веса пилота (с использованием макета человека 900 мм).

2.6. Планы на будущее и масштабирование

Таблица 4: испытания перед первым полетом

Этап	Что измеряется	Критерий перехода
1. Стендовая проверка	Тяга, ток, температура, работа регуляторов	Безопасность силовой установки
2. Балансировка	Центр тяжести, жёсткость конструкции	Готовность к первому вылету
3. Малый режим тяги	Реакция конструкции и механизма	Отсутствие люфтов и вибраций
4. Самостоятельный старт с поверхности	Возможность отрыва от Земли	Устойчивый вертикальный разгон
5. Управление тягой	Крен, тангаж, рыскание	Вклад поворотных двигателей
6. Сравнение с элевонами	Эффект элевонов	Выбор схемы управления

Самостоятельный отрыв модели от поверхности рассматривается как отдельный экспериментальный критерий. Он будет проверяться только после завершения конструкции, стендовой проверки тяги и безопасной настройки управления.

Что будет считаться результатом:

- проверена реальная тяга каждого двигателя и общая тяга;
- измерена фактическая масса готовой модели;
- проверено, может ли модель самостоятельно стартовать с поверхности;
- посмотрено, как модель реагирует на изменение направления тяги;
- сравнена работа поворотной тяги и элевонов;
- проверены вибрации, люфты и прочность конструкции;
- понято, нужно ли менять крепление двигателей и поворотный механизм.

Ближайшие задачи:

- Закончить 3D-модель каркаса 1:2.
- Продолжить разработку поворотного механизма.
- Проверить прочность каркаса и соединения двух половин.
- Проверить реальную тягу и ток двигателей.
- Провести первые безопасные испытания и сравнить варианты управления.

Перспективы:

После испытаний можно будет решить, оставлять ли элевоны, переходить ли на управление только поворотной тягой или использовать оба способа вместе. Полноразмерный пилотируемый аппарат — дальнейшая перспектива, требующая отдельных расчётов прочности, аэродинамики, силовой установки и безопасности. В этой работе такие задачи не рассматривались.

2.7. Расчёты силовой установки и несущих характеристик (модель 1:2)

Ниже приведены инженерные расчёты для модели 1:2, выполненные на основе технических характеристик выбранных компонентов и стандартных аэродинамических соотношений. Расчёты носят оценочный характер и подлежат уточнению после стендовых замеров тяги силовой установки и построения полярных характеристик профиля Fauvel 14% в программе Profili.

Площадь крыла и нагрузка

Для трапециевидного крыла с размахом b = 1,5 м, корневой хордой 0,82 м и концевой хордой 0,30 м площадь оценивается по формуле:

$$S = b\,\frac{c_root + c_tip}{2}$$

$$S = 1.5\,\frac{0.82 + 0.30}{2} \approx 0.84\ \text{м}^2$$

Удельная нагрузка на крыло

$$p = \frac{m}{S}$$

$$p = \frac{4}{0.84} \approx 4.8\ \text{кг/м}^2$$

$$p = \frac{5.5}{0.84} \approx 6.5\ \text{кг/м}^2$$

$$p = \frac{7}{0.84} \approx 8.3\ \text{кг/м}^2$$

При массе 4 кг удельная нагрузка составляет примерно 4,8 кг/м², при 5,5 кг - около 6,5 кг/м², при 7 кг - около 8,3 кг/м². Эти значения являются расчётными и будут уточняться после определения фактической массы готовой конструкции.

Оценка скорости сваливания

Для предварительной оценки использована зависимость V_s = sqrt(2mg / (ρ•S•Cy_max)). При плотности воздуха ρ = 1,225 кг/м³ и принятом оценочном Cy_max = 0,9 получаются следующие ориентиры:

$$Vs_s = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S Cy_max}}$$

$$V_s = \sqrt{(2 \cdot 4 \cdot 9.81\ /\ (1.225 \cdot 0.84 \cdot 0.9))} \approx 9.2\ \text{м/с}$$

$$V_s = \sqrt{(2 \cdot 5.5 \cdot 9.81\ /\ (1.225 \cdot 0.84 \cdot 0.9))} \approx 10.8\ \text{м/с}$$

$$V_s = \sqrt{(2 \cdot 7 \cdot 9.81\ /\ (1.225 \cdot 0.84 \cdot 0.9))} \approx 12.2\ \text{м/с}$$

Таблица 5: оценка скорости сваливания

Масса	Скорость сваливания	Эквивалентная скорость
4 кг	≈ 9,2 м/с	≈ 33 км/ч
5,5 кг	≈ 10,8 м/с	≈ 39 км/ч
7 кг	≈ 12,2 м/с	≈ 44 км/ч

Для профиля Fauvel использован ориентировочный коэффициент, поэтому эти значения нельзя считать результатом окончательной аэродинамической верификации. Для уточнения необходимы полярные характеристики профиля и измерения на реальной модели.

Тяга и возможность старта с поверхности

Для двигателя DYS D3548 1100KV в исходных данных проекта использована оценка максимальной тяги около 2,15 кг на 5S со штатным винтом. Для питания 4S получена ориентировочная оценка около 1,38 кг на один двигатель. Для четырёх двигателей это даёт суммарную статическую тягу порядка 5,5 кг.

$$K_\{T/W\} = \frac{T_\Sigma}{m}$$

$$K_\{T/W\} = 5.5 / 4 \approx 1.38$$

$$K_\{T/W\} = 5.5 / 5.5 = 1.00$$

$$K_\{T/W\} = 5.5 / 7 \approx 0.79$$

Таблица 5.1: расчет тяги

Расчётная масса	Оценочная суммарная тяга	Отношение тяга/вес
4,0 кг	≈ 5,5 кг	≈ 1,38
5,5 кг	≈ 5,5 кг	≈ 1,00
7,0 кг	≈ 5,5 кг	≈ 0,79

Расчёт показывает важное ограничение текущей силовой установки: при массе около 7 кг отношения тяги к весу недостаточно для нормального вертикального старта с запасом на управление, ветер и потери. Поэтому 7 кг не следует указывать как достигнутую или подтверждённую лётную нагрузку. Для первых испытаний разумнее ориентироваться на меньшую массу готового прототипа и подтверждать фактическую тягу стендовыми измерениями.

Центровка

Для трапециевидного крыла с указанными хордами средняя аэродинамическая хорда оценивается примерно в 600 мм. В качестве первоначального диапазона для центровки рассматривается 20-25% CAX от передней кромки. Точное положение центра тяжести должно быть определено по геометрии готовой модели и затем подтверждено практической балансировкой.

Методика дальнейших экспериментальных испытаний

Цель эксперимента

После завершения модели 1:2 планируется провести поэтапные испытания. На данном этапе целью не является имитация полноценного пилотируемого аппарата. Основная задача - проверить способность экспериментальной модели отрываться от поверхности, оценить устойчивость, управляемость и влияние поворота тяги.

Таблица 5.3: проведение испытаний

Этап	Что измеряется	Критерий перехода
1. Стендовая проверка	Тяга, ток, температура, работа регуляторов	Проверить безопасность силовой установки.
2. Балансировка	Центр тяжести, жёсткость конструкции	Подготовить модель к безопасному первому вылету.
3. Малый режим тяги	Реакция конструкции и механизма	Обнаружить люфты и вибрации.
4. Самостоятельный старт	Возможность отрыва с поверхности Земли	Проверить вертикальный/комбинированный разгон.
5. Управление тягой	Крен, тангаж, рыскание	Определить вклад поворотных двигателей.
6. Сравнение с элевонами	Наличие/отсутствие заметного эффекта элевонов	Определить дальнейшую схему управления.

2.8. Рассмотренная конструктивная альтернатива - схема биплан

Описание схемы. На начальном этапе проекта была разработана альтернативная схема в виде макета — биплан. Каждое из двух крыльев выполнялось с простым плосковыпуклым профилем (плоская нижняя поверхность, выпуклая верхняя) — такой профиль проще в изготовлении, чем профиль Fauvel, но обладает менее эффективными несущими характеристиками. Крылья соединялись между собой килями, напечатанными на 3D-принтере, которые одновременно выполняли роль стоек между крыльями и элементов путевой устойчивости. Органы управления (элевоны) были установлены только на одном из двух крыльев — второе крыло управляющих поверхностей не имело. Примерная схема распределеия компонентов предполагала установку органов управления и электроники на одном крыле а второе крыло должно было увеличивать несущую поверхность.

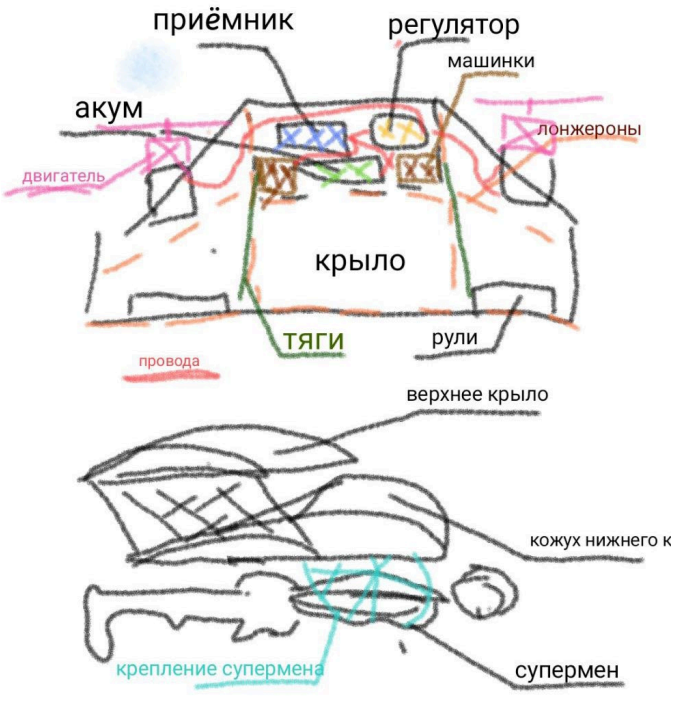


Рис. 6.1: примерная схема расположения компонентов биплана

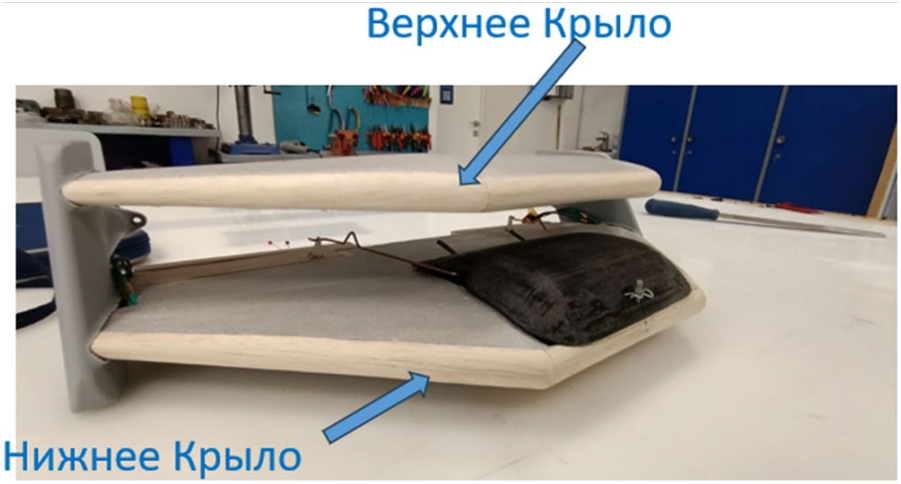


Рис. 6.2: вид спереди

Причина отказа от конструкции крыла схемы биплан:

От схемы биплана отказались прежде всего по аэродинамическим и весовым соображениям: два несущих крыла и соединяющие их кили увеличивают лобовое сопротивление, а также массу конструкции по сравнению с одним трапециевидным крылом. Для персонального летательного аппарата, где вес и аэродинамическая эффективность напрямую определяют время полёта и грузоподъёмность, это оказалось решающим недостатком. Несимметричная расстановка элевонов (только на одном крыле) дополнительно осложнила бы управление, но выступила лишь второстепенной причиной. В итоге команда сосредоточилась на одном трапециевидном крыле с профилем Fauvel 14%: при такая схема даёт меньшее сопротивление и меньшую массу конструкции, что и определило дальнейшее развитие проекта в сторону моноплана. Биплан стал одним из первых вариантов, которые мы попробовали. Этот этап показал, что дальше конструкцию нужно прорабатывать точнее и сначала нормально делать её в 3D.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения проекта «Летательный аппарат «Ночной орёл» выполнены основные поставленные задачи. Изучены современные технологии и аналоги, спроектирована собственная конструкция с гибридной системой управления (элевоны + векторная тяга), которая должна повысить манёвренность и устойчивость.

Изготовлен и испытан прототип масштаба 1:5. Испытания проводились только с управлением от элевонов, так как поворотный механизм двигателей на данной модели отсутствовал. Результаты испытаний показали, что использование только элевонов не обеспечивает достаточной манёвренности, особенно на малых скоростях: наблюдается вялая реакция на команды и возникновение пикирующего момента. Таким образом, подтверждена необходимость применения гибридной системы.

На основе этих выводов спроектирована и частично изготавливается модель масштаба 1:2, в которой будут реализованы два статических передних и два поворотных задних двигателя (векторная тяга). Именно на этой модели планируется впервые испытать совместную работу элевонов и поворотных двигателей.

Практическая значимость работы заключается в том, что изготовленная модель 1:5 позволила выявить ограничения схемы только с элевонами, а разработанная компоновка, расчёты и методика испытаний модели 1:2 создают основу для проверки векторной тяги и последующего масштабирования до пилотируемой версии. Использование 3D-печати из PETG показало свою эффективность для быстрого прототипирования. Определены основные направления дальнейшей работы:

- завершение сборки модели
- 1:2, испытания гибридного управления,
- увеличение масштаба до 1:1, улучшение систем безопасности и поиск ресурсов.

Таким образом, проект «Летательный аппарат «Ночной орёл» подтвердил свою актуальность и жизнеспособность. Разработанная гибридная схема (элевоны + векторная тяга), хотя пока не прошла лётных испытаний, имеет хороший потенциал и будет проверена на модели 1:2. Её успешная реализация может стать основой для нового поколения персональных летательных аппаратов.

Список литературы

1. **Интернет-источник:** официальный сайт проекта Jetman / Human Flight [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jetman.com (дата обращения: 06.09.2024).
2. **Интернет-источник:** Bell Rocket Belt **,** история и технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Bell_Rocket_Belt (дата обращения: 15.11.2025).
3. **Интернет-источник:** официальный сайт EHang 184 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ehang.com/ehang184/ (дата обращения: 15.11.2025).
4. **Интернет-источник:** официальный сайт Volocopter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.volocopter.com (дата обращения: 14.11.2025).
5. **Интернет-источник:** рекомендации по печати PETG, выбор параметров слайсинга. – Режим доступа: https://all3dp.com, https://3dtrcek.com (дата обращения: 13.09.2025).
6. **Интернет-источник:** форум авиамоделистов RC Groups – обсуждение систем векторной тяги, гибридного управления и настройки полётных контроллеров. – Режим доступа: https://www.rcgroups.com (дата обращения: 10.01.2025).
7. **Интернет-источник:** история и технические характеристики Hiller Flying Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Hiller_Flying_Platform (дата обращения: 13.09.2025).