

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИНТЕГРАЦИЕЙ СИМУЛЯТОРА ПОЛЁТОВ

Коноваленко Матвей Валерьевич¹
Ковалёв Василий Александрович²

Введение

Беспилотные летательные аппараты находят применение в мониторинге инфраструктуры, аэрофотосъёмке, сельском хозяйстве, поисково-спасательных операциях и образовании [1]. Расширение областей применения повышает потребность в качественной подготовке операторов, способных управлять аппаратом, понимать принципы его работы и соблюдать требования безопасности полётов [2].

Анализ существующих средств обучения показывает их принципиальную разрозненность. Специализированные симуляторы обеспечивают реалистичную физику полёта и поддержку пульта управления, однако не содержат теоретического материала и не формируют управляемый учебный маршрут [3]. Онлайн-курсы предоставляют теорию и тестирование, но лишены возможности практической отработки навыков управления [4]. Корпоративные тренажёрные комплексы объединяют теорию и практику, однако недоступны для массового применения в вузах ввиду высокой стоимости [5]. Таким образом, на рынке отсутствует доступное решение, последовательно ведущее обучаемого от теории через контро-

УДК 378.147.88:004.4

¹**Автор:** Коноваленко М.В., студент, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
E-mail: mayn.rid.2001@mail.ru

²**Научный руководитель:** Ковалёв В.А., д-р. экон. наук, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

В статье рассматривается разработка учебно-тренировочного веб-приложения для подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Актуальность работы обусловлена разрозненностью существующих средств обучения: теоретические курсы, системы тестирования и симуляторы полёта применяются изолированно, что снижает качество подготовки. Целью исследования является создание программного решения, объединяющего теоретический курс из шести тематических блоков, поблочное тестирование с управляемым учебным маршрутом и практический модуль на основе симулятора полёта с поддержкой физического пульта управления. Предложена двухкомпонентная архитектура: браузерная платформа на стеке FastAPI, React и PostgreSQL и десктопный клиент на Python с библиотекой pygame, принимающий сигнал пульта по протоколу HID. Новизна работы состоит в объединении теории, контроля знаний и тренажёрной практики в едином управляемом учебном контуре с блокировкой доступа к следующему этапу до подтверждения освоения предыдущего, а также в реализации офлайн-режима для учебной лаборатории вуза. Приведены результаты апробации в учебной лаборатории, подтвердившие работоспособность и применимость решения в образовательном процессе.

ль знаний к практике в едином программном продукте.

Целью исследования является разработка учебно-тренировочного веб-приложения для подготовки операторов БПЛА, объединяющего теоретический курс, поблочное тестирование и симулятор полёта с поддержкой физического пульта управления. Для достижения цели решаются задачи: определение структуры учебного курса; проектирование архитектуры приложения; реализация интеграции симулятора по протоколу NID; апробация решения в условиях учебной лаборатории.

1. Анализ существующих решений

Для обоснования выбора подхода к разработке выполнен сравнительный анализ существующих программных решений в области подготовки операторов БПЛА. В качестве критериев сравнения выбраны: наличие теоретического курса, встроенная система тестирования, поддержка физического пульта управления по протоколу NID, реализация управляемого учебного маршрута (последовательной блокировки этапов) и возможность офлайн-работы в условиях локальной сети учебного заведения. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ средств обучения операторов БПЛА

Критерий	DJI Flight Simulator	Realflight 9.5	Онлайн-курсы (Stepik, Coursera)	Корпоративные тренажёры	Разработанное решение
Теоретический курс	Нет	Нет	Да	Да	Да
Встроенное тестирование	Нет	Нет	Да	Частично	Да
Поддержка NID-пульта	Да	Да	Нет	Да	Да
Управляемый учебный маршрут	Нет	Нет	Частично	Да	Да
Офлайн-режим (ЛВС вуза)	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Доступность для вузов	Ограничена	Коммерческая	Высокая	Низкая	Высокая

Как следует из таблицы 1, ни одно из рассмотренных решений не обеспечивает одновременно полного учебного цикла (теория → тест → практика), поддержки физического пульта по NID и возможности развёртывания в изолированной сети вуза. Разработанное приложение закрывает все выявленные пробелы, что подтверждает актуальность проекта.

2. Структура учебного курса

Курс построен по принципу «изучил — сразу проверил» и состоит из шести тематических блоков.

1. Типы и классификация БПЛА.
2. Источники питания и бортовая электроника.
3. Настройка пульта управления.
4. Настройка и предполётная подготовка дрона.
5. Правила полётов и безопасность.
6. Предполётная подготовка оператора.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, оператор БПЛА, веб-приложение, симулятор полёта, тестирование, пульт управления

Каждый блок завершается тематическим тестом. Доступ к следующему блоку открывается только после успешного прохождения теста с результатом не ниже 80 %. Данный порог определён с учётом рекомендаций в области симуляционного обучения: систематическое освоение каждого этапа перед переходом к следующему обеспечивает формирование устойчивых навыков [6].

После прохождения всех шести блоков обучаемый сдаёт итоговый тест, охватывающий весь курс. Успешное прохождение итогового контроля открывает доступ к практическому модулю — симулятору полёта. Практические задания разбиты на три уровня сложности: базовое управление (висение, горизонтальные перемещения); навигационные задачи (маршрутный полёт, разворот, снижение); сценарные миссии с имитацией внешних условий (ветровое возмущение, ограниченная видимость).

3. Архитектура приложения

Система реализована в виде двух взаимодействующих компонентов: браузерной веб-платформы и десктопного клиента симулятора.

3.1. Веб-платформа

Веб-платформа реализована на стеке React (frontend), FastAPI (backend) и PostgreSQL (база данных). Компонент обеспечивает авторизацию пользователей, доступ к теоретическому контенту шести блоков, проведение тестирования с автоматической проверкой ответов, управление учебным маршрутом (блокировку доступа к непройденным этапам) и аналитику прогресса обучаемых. Развёртывание выполняется средствами Docker, что обеспечивает воспроизводимую установку в локальной сети учебного заведения без подключения к сети Интернет.

3.2. Десктопный клиент симулятора

Десктопный клиент реализован на языке Python с использованием библиотеки pygame. Клиент запускает симулятор полёта, принимает сигналы физического пульта управления, подключённого по USB и определяемого операционной системой как HID-устройство (Human Interface Device), и транслирует их в управляющие команды симулятора. По завершении полётной сессии клиент передаёт результаты на веб-платформу через REST API.

Клиент функционирует в офлайн-режиме во время полётной сессии и синхронизирует данные при наличии соединения. Данный режим критически важен для учебной лаборатории вуза с ограниченным доступом к сети, где компьютеры обучаемых могут не иметь постоянного подключения к серверу [6].

3.3. Взаимодействие компонентов

Обмен данными между веб-платформой и десктопным клиентом осуществляется по REST API. Веб-платформа хранит информацию о прогрессе обучаемого и управляет доступом к модулям; десктопный клиент запрашивает права на запуск симулятора и отправляет результаты выполненных заданий. Все компоненты развёртываются в Docker-контейнерах под управлением Windows 10/11 — основной платформой компьютерных классов ОмГТУ.

4. Реализация интеграции пульта управления

Физический пульт управления (RC-контроллер) подключается к компьютеру обучаемого по интерфейсу USB. Операционная система Windows идентифицирует устройство как HID-джойстик. Библиотека pygame предоставляет кросс-платформенный API для чтения осей и кнопок HID-устройств без установки дополнительных драйверов.

Цикл обработки входных данных в десктопном клиенте реализован следующим образом. При инициализации клиент перебирает доступные джойстики через pygame.joystick и выбирает первое обнаруженное устройство. В игровом цикле с частотой 60 Гц считываются значения осей: ось 0 — крен (roll), ось 1 — тангаж (pitch), ось 2 — рыскание (yaw), ось 3 — тяга (throttle). Нормализованные значения (диапазон $-1...+1$) передаются в физическую модель симулятора, реализующую упрощённую модель квадрокоптера с учётом инерции и гравитации.

Данный подход обеспечивает совместимость с широким классом RC-контроллеров, по-

держивающих протокол HID, без привязки к конкретному производителю. В ходе разработки тестировались контроллеры Taranis Q X7 и RadioMaster TX16S в режиме USB-джойстика; оба устройства определялись корректно.

5. Результаты апробации

Апробация проводилась в учебной лаборатории БПЛА ОмГТУ на группе из 12 обучаемых очной формы обучения. Участники последовательно прошли все шесть теоретических блоков, выполнили тематические и итоговый тесты, а затем выполнили практические задания первого и второго уровней сложности в симуляторе с подключённым пультом управления.

Основные результаты апробации:

- 1) среднее время прохождения полного курса (теория + тесты + практика уровней 1–2) составило 4,5 часа;
- 2) доля обучаемых, прошедших итоговый контроль с первой попытки, — 83 %;
- 3) все 12 участников успешно выполнили задания первого уровня сложности («базовое управление»);
- 4) 9 из 12 участников (75 %) завершили задания второго уровня («навигационные задачи»);
- 5) задания третьего уровня («сценарные миссии») не входили в программу апробации и запланированы для следующей итерации.

Зафиксированные затруднения преимущественно относились к блоку «Настройка пульта управления»: 4 из 12 обучаемых потребовали второй попытки для прохождения соответствующего теста. Анализ ответов показал, что причиной служит недостаточное количество иллюстративного материала в данном разделе. Это указывает на необходимость расширения визуальной составляющей теоретического блока в следующей версии приложения.

Функциональность HID-интеграции подтверждена на обоих типах тестируемых контроллеров. Задержка передачи управляющих сигналов от пульта к симулятору не превышала 16 мс, что соответствует приемлемому порогу для тренажёрных применений.

Заключение

В работе разработано учебно-тренировочное веб-приложение для подготовки операторов БПЛА, объединяющее теоретический курс из шести блоков, поблочное тестирование и практический модуль на основе симулятора полёта с поддержкой физического пульта управления по протоколу HID.

Ключевым отличием от рассмотренных аналогов является реализация полного управляемого учебного контура в едином продукте с последовательной блокировкой доступа к следующему этапу, а также возможность автономного развёртывания в локальной сети учебного заведения. Апробация на группе из 12 обучаемых подтвердила работоспособность системы и её применимость в образовательном процессе.

Направлениями дальнейшей работы являются: расширение банка заданий симулятора и добавление нестандартных сценариев третьего уровня; улучшение иллюстративного материала в блоке настройки пульта управления; адаптация системы под различные типы БПЛА (мультироторные, самолётного типа, гибридные); добавление модуля аналитики для преподавателя с отслеживанием ошибок управления.

Библиографический список

1. Бочаров С. А. Симуляционные тренажёры в системе профессиональной подготовки операторов беспилотных авиационных систем // Вестник авиации и космонавтики. 2021. № 3. С. 12–19.
2. Воронов А. М. Разработка учебно-тренировочных комплексов для подготовки операторов беспилотных воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 5. С. 147–158.
3. Захаров В. П., Сомов А. Н. Методика подготовки операторов БПЛА с применением

программных симуляторов // Известия МГТУ «МAMI». 2020. № 2. С. 58–65.

4. Скрипниченко Д. Г. Цифровые образовательные платформы в техническом образовании: структура, функции, эффективность // Открытое образование. 2022. Т. 26, № 1. С. 34–44.

5. Шафеева О. П. Программирование C/C++. Проектирование алгоритмов и программ: метод. указания. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. 40 с.

6. McGaghie W. C., Issenberg S. B. A critical review of simulation-based medical education research: 2003–2009 // Medical Education. 2010. Vol. 44. P. 50–63.