

Министерство образования и науки Самарской области
Государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного образования Самарской области
«Самарский областной центр детско-юношеского технического творчества»

Принята на заседании
Методического Совета
Протокол № 2

от « 20 » июня 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГБОУ ДО СО СОЦДЮТТ



/А.Ю. Богатов/

2023 г.

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа
технической направленности
«Основы беспилотных летательных систем»

Возраст детей: 12-18 лет

Срок обучения: 1 год

Разработчики:

Андреев Дмитрий Валерьевич
педагог дополнительного образования,
Ваньшин Денис Алексеевич
педагог дополнительного образования

Самара, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--------------------------|----|
| Пояснительная записка | 3 |
| Учебно-тематический план | 11 |
| Содержание программы | 14 |
| Методическое обеспечение | 16 |
| Список литературы | 17 |

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В настоящее время рынок БПЛА (беспилотных летательных аппаратов) – стал очень перспективной и быстроразвивающейся отраслью, к 2015 году рынок БПЛА уже оценивался в 127 млрд долларов США¹ и продолжает активно развиваться. Очень скоро БПЛА станут неотъемлемой частью повседневной жизни: мы будем использовать БПЛА не только в СМИ и развлекательной сферах, но и в инфраструктуре, страховании, сельском хозяйстве и обеспечении безопасности, появятся новые профессии, связанные с ростом рынка.

Настоящая общеобразовательная общеразвивающая программа дополнительного образования детей имеет научно-техническую направленность. Предполагает дополнительное образование детей в области конструирования, моделирования и беспилотной авиации, программа также направлена на формирование у детей знаний и навыков, необходимых для работы с беспилотными авиационными системами (БАС).

Программа позволяет создавать благоприятные условия для развития технических способностей школьников. Программа отвечает потребностям общества, формированию творческих способностей и развитию личности. Этими факторами определяется *выбор уровня и направленности программы*.

Программа разработана в соответствии с Письмом Минобрнауки РФ от 11.12.2006 г. № 06-1844 «О примерных требованиях к программам дополнительного образования детей», Федеральным законом Российской Федерации «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ, Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным общеобразовательным программам (приказ Минобрнауки от 29.08.2013г. № 1008) и отвечает требованиям «Концепции развития дополнительного образования» от 4 сентября 2014 года (Распоряжение Правительства РФ от 04.09.2014 N 1726-р).

Актуальность программы обусловлена социальным заказом общества

¹ По информации PowerwaterhouseCoopers

на технически грамотных специалистов в области беспилотных систем и воздушной робототехники. Современные тенденции развития роботизированных комплексов в авиации получили реализацию в виде беспилотных авиационных систем (БАС).

В настоящее время наблюдается лавинообразный рост интереса к беспилотной авиации как инновационному направлению развития современной техники, хотя история развития этого направления началась уже более 100 лет тому назад. Развитие современных и перспективных технологий позволяет сегодня беспилотным летательным аппаратам успешно выполнять такие функции, которые в прошлом были им недоступны или выполнялись другими силами и средствами.

Благодаря росту возможностей и повышению доступности дронов, потенциал использования их в разных сферах экономики стремительно растёт. Это создало необходимость в новой профессии: оператор БАС. Стратегическая задача курса состоит в подготовке специалистов по конструированию, программированию и эксплуатации БАС.

Настоящая образовательная программа позволяет не только обучить ребенка моделировать и конструировать БПЛА, но и подготовить обучающихся к планированию и организации работы над разноуровневыми техническими проектами и в дальнейшем осуществить осознанный выбор вида деятельности в техническом творчестве.

Новизна настоящей образовательной программы заключается в том, что она интегрирует в себе достижения современных и инновационных направлений в малой беспилотной авиации.

Педагогическая целесообразность настоящей программы заключается в том, что после ее освоения обучающиеся получают знания и умения, которые позволят им понять основы устройства беспилотного летательного аппарата, принципы работы всех его систем и их взаимодействия, а также управление БПЛА. Использование различных инструментов развития soft-skills у детей (игропрактика, командная работа) в сочетании с развитием у них hard-

компетенций (workshop, tutorial) позволит сформировать у ребенка целостную систему знаний, умений и навыков.

Настоящая программа соответствует общекультурному уровню освоения и предполагает удовлетворение познавательного интереса обучающегося, расширение его информированности в области беспилотных летательных аппаратов и систем, а также обогащение навыками общения и приобретение умений совместной деятельности в освоении программы.

Целью программы является формирование у обучающихся устойчивых soft-skills и hard-skills² по следующим направлениям: проектная деятельность, теория решения изобретательских задач, работа в команде, аэродинамика и конструирование беспилотных летательных аппаратов, основы радиоэлектроники и схемотехники, программирование микроконтроллеров, лётная эксплуатация БАС (беспилотных авиационных систем). Программа направлена на развитие в ребенке интереса к проектной, конструкторской и предпринимательской деятельности, значительно расширяющей кругозор и образованность ребенка.

Основные задачи программы

образовательные задачи

↓ сформировать у обучающихся устойчивые знания в области моделирования и конструирования БАС;

↓ развить у обучающихся технологические навыки конструирования;

↓ сформировать у обучающихся навыки современного организационно-экономического мышления, обеспечивающих социальную адаптацию в условиях рыночных отношений.

развивающие задачи

↓ поддержать самостоятельность в учебно-познавательной деятельности;

² «soft-skills» – теоретические знания и когнитивных приемы, «hard-skills» – умения «работать руками».

- ↓ развить способность к самореализации и целеустремлённости;
 - ↓ сформировать техническое мышление и творческий подход к работе;
 - ↓ развить навыки научно-исследовательской, инженерно-конструкторской и проектной деятельности;
 - ↓ расширить ассоциативные возможности мышления;
- воспитательные задачи***
- ↓ сформировать коммуникативную культуру, внимание, уважение к людям;
 - ↓ воспитать трудолюбие, развить трудовые умения и навыки, расширить политехнический кругозор и умение планировать работу по реализации замысла, предвидение результата и его достижение;
 - ↓ сформировать способности к продуктивному общению и сотрудничеству со сверстниками и взрослыми в процессе творческой деятельности;

Отличительные особенности программы

К основным отличительным особенностям настоящей программы можно отнести следующие пункты:

- ↓ кейсовая система обучения;
- ↓ проектная деятельность;
- ↓ направленность на soft-skills;
- ↓ игропрактика;
- ↓ среда для развития разных ролей в команде;
- ↓ сообщество практиков (возможность общаться с детьми из других квантумов, которые преуспели в практике своего направления);
- ↓ направленность на развитие системного мышления;
- ↓ рефлексия.

Адресат программы: программа ориентирована на дополнительное образование учащихся среднего и старшего школьного возраста (12 – 18 лет).

Особенностью детей этого возраста является то, что в этот период происходит главное в развитии мышления – овладение подростком процессом образования понятий, который ведет к высшей форме интеллектуальной деятельности, новым способам поведения. Функция образования понятий лежит в основе всех интеллектуальных изменений в этом возрасте.

Для возраста 12 – 18 лет характерно господство детского сообщества над взрослым. Здесь складывается новая социальная ситуация развития.

Идеальная форма – то, что ребенок осваивает в этом возрасте, с чем он реально взаимодействует, – это область моральных норм, на основе которых строятся социальные взаимоотношения. Общение со своими сверстниками – ведущий тип деятельности в этом возрасте. Именно здесь осваиваются нормы социального поведения, нормы морали.

Наполняемость групп: 12 человек;

Предполагаемый состав групп: дети возраста 12 – 18 лет, группа формируется в зависимости от начальных знаний и возраста детей.

Условия приема: принимаются все желающие, не имеющие медицинских противопоказаний.

Сроки реализации программы: Программа рассчитана на 72 академических часа. Из них 54 очных занятия и 18 дистанционных.

Формы и режим занятий

Форма организации занятий: групповая, индивидуальная, индивидуально-групповая и фронтальная.

Занятия групп 1 года обучения проводятся на 3-х заездах по 18 часов на каждом и 6 часов дистанционно.

Программой предусмотрено проведение комбинированных занятий: занятия состоят из теоретической и практической частей, причем большее количество времени занимает именно практическая часть.

При проведении занятий используются следующие **формы работы:**

¶ Лекция-диалог с использованием метода «перевернутый класс» – когда обучающимся предлагается к следующему занятию ознакомиться с

материалами (в т.ч. найденными самостоятельно) на определенную тему для обсуждения в формате диалога на предстоящем занятии;

↯ Workshop и Tutorial (практическое занятие – hard skills), что по сути является разновидностями мастер-классов, где обучающимся предлагается выполнить определенную работу, результатом которой является некоторый продукт (физический или виртуальный результат). Близкий аналог – фронтальная форма работы, когда обучающиеся синхронно работают под контролем педагога;

↯ конференции внутриквантовые и межквантовые, на которых обучающиеся делятся опытом друг с другом и рассказывают о собственных достижениях;

↯ самостоятельная работа, когда обучающиеся выполняют индивидуальные задания в течение части занятия или нескольких занятий.

↯ метод кейсов (case-study), "мозговой штурм" (Brainstorming), метод задач (Problem-Based Learning) и метод проектов (Project-Based Learning). Пример: кейс – это конкретная задача («случай» – case, англ.), которую требуется решить, для этого в режиме «мозгового штурма» предлагаются варианты решения, после этого варианты обсуждаются и выбирается один или несколько путей решения, после чего для решения кейса формируются более мелкие задачи, которые объединяются в проект и реализуются с применением метода командообразования.

Ожидаемые результаты и способы определения их результативности

Ожидаемый результат по образовательному компоненту программы:

↯ приобретение обучающимися знаний в области моделирования и конструирования БАС;

↯ занятия по настоящей программе помогут учащимся сформировать технологические навыки;

↯ сформированность навыков современного организационно-

экономического мышления, обеспечивающая социальную адаптацию в условиях рыночных отношений.

Ожидаемый результат по развивающему компоненту программы:

- ↓ сформированность у обучающихся самостоятельности в учебно-познавательной деятельности;
- ↓ развитие способности к самореализации и целеустремленности;
- ↓ сформированность у учащихся технического мышления и творческого подхода к работе;
- ↓ развитость навыков научно-исследовательской, инженерно-конструкторской и проектной деятельности у обучающихся;
- ↓ развитые ассоциативные возможности мышления у обучающихся.

Ожидаемый результат по воспитательному компоненту программы

- ↓ сформированность коммуникативной культуры обучающихся, внимание, уважение к людям;
- ↓ развитие трудолюбия, трудовых умений и навыков, широкий политехнический кругозор;
- ↓ сформированность умения планировать работу по реализации замысла, способность предвидеть результат и достигать его, при необходимости вносить коррективы в первоначальный замысел;
- ↓ сформированность способности к продуктивному общению и сотрудничеству со сверстниками и взрослыми в процессе творческой деятельности;

Способы определения результативности:

Виды контроля:

- ↓ вводный, который проводится перед началом работы и предназначен для закрепления знаний, умений и навыков по пройденным темам;
- ↓ текущий, проводимый в ходе учебного занятия и закрепляющий знания по данной теме;

↓ итоговый, проводимый после завершения всей учебной программы.

Формы проверки результатов:

- ↓ наблюдение за детьми в процессе работы;
- ↓ соревнования;
- ↓ индивидуальные и коллективные технические проекты.

Формы подведения итогов реализации программы

- ↓ выполнение практических полётов (визуальных и с FPV);
- ↓ практические работы по сборке, программированию и ремонту квадрокоптеров;
- ↓ творческое задания (подготовка проектов и его презентация).

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

| Разделы | Наименование темы | Всего часов |
|----------|--|-------------|
| Заезд 1. | Теория мультироторных систем и их основы. Основы управления и подготовка на симуляторе. | 18 |
| | Вводная лекция и изучение мультироторных систем. | 1 |
| | Изучение различных типов беспилотных летательных аппаратов и их принцип работы. | 1 |
| | Изучение строения беспилотных аппаратов мультироторного типа и их комплектующих. | 1 |
| | Основные понятия об электричестве. Ток, напряжение, сопротивление, мощность. Рассмотрение того, как они работают в цепи квадрокоптера. | 1 |
| | Техника безопасности при пайке и инструктаж по использованию паяльной станции. | 1 |
| | Технология пайки. Обучение пайке. | 1 |
| | Практическое занятие с литий полимерными аккумуляторами и изучение их основных характеристик. | 2 |

| | | |
|----------|---|----|
| | Обучение пилотированию на симуляторе и после полеты на тренировочных квадрокоптерах Radeo 150. | 5 |
| | Платы разводки питания, как она устроена и как она работает. Строение основной цепи питания коптера. | 1 |
| | Коллекторные и Бесколлекторные двигатели, из чего они состоят и принцип их работы, и регуляторы их хода, как они связаны между собой и принцип их работы. | 2 |
| | Закрепление изученных тем и самостоятельная работа по теоретической части работы мультироторного беспилотника и пилотирование на квадракоптере. | 2 |
| Заезд 2. | Сборка и настройка квадрокоптера. Разделение подготовки по разным направлениям. Основы 3Д Моделирования. | 18 |
| | Инструктаж по технике безопасности при работе со слесарным инструментом и начало сборки рамы квадракоптера. | 1 |
| | Тренировка пайки на специальных макетах. Установка силовой части и пайка силовых и сигнальных проводов ESC. | 1 |

| | | |
|--|--|---|
| | Знакомство с Компас-3D. Вкладки «Геометрия» и «Редактирование». Работа в Компас-3D. Операции «выдавливания» и «вращения». | 2 |
| | Самостоятельная работа в Компас-3D. | 1 |
| | Изучение различных специальностей по работе с БПЛА. Распределение подготовки обучения по направлениям: “Инженер-разработчик БПЛА”, “Сборщик и настройщик БПЛА”, “Оператор БПЛА”. | 1 |
| | Установка полетного контроллера и дополнительного оборудования. Изучение различных типов полетных контроллеров. | 1 |
| | Принцип функционирования полётного контроллера. Изучение датчиков IMU. | 1 |
| | Основы настройки полётного контроллера с помощью компьютера в программе QGC. Так же изучение различных программ для настройки полетных контроллеров. | 3 |
| | Работа в Компас-3D. Работа с «деревом» модели. Зеркальный, линейный и круговой массивы. Изучение 3D принтера и ПО Ultimaker Cura для него. | 1 |

| | | |
|----------|--|----|
| | Проектирование узла полезной нагрузки для коптера, обработка в слайсере и его печать на 3D принтере. | 1 |
| | Начало изучение специальностей углубленно. | 1 |
| | Лекция о том, как правильно фотографировать объект и маневрировать при съемке. Изучение FPV систем. | 1 |
| | Практические полеты на дронах для аэрофотосъемки DJI Mavic и изучение различных навыков пилотирования для аэрофотосъемки. | 1 |
| | Самостоятельная работа со специальными условиями полета (максимальная высота, отдаление, ракурсы) по съемке какого-либо объекта в ближайшей к школе местности. | 2 |
| Заезд 3. | Учебные полеты на квадрокоптерах собственной сборки. Подготовка к проектам. | 18 |
| | Инструктаж по технике безопасности полетов на квадрокоптерах без вспомогательных систем управления. | 1 |
| | Обучение навыкам пилотирования квадрокоптера без вспомогательных систем управления и закрепления навыка пилотирования на симуляторе. | 1 |

| | | |
|------------------------|--|----|
| | <p>Полёты: «удержание на заданной высоте», перемещения «вперед-назад», полёты: перемещения «влево- вправо», «точная посадка на удаленную точку», Полёты: «коробочка», «челнок», Полёты: «восьмерка», «змейка».</p> | 1 |
| | <p>Настройка PID регулятора квадрокоптера после тестовых полётов. Установка FPV системы.</p> | 2 |
| | <p>Разделение на команды по подготовке к проектам, в команду входят: “Инженер-разработчик”, “Сборщик и настройщик”, “Оператор”.</p> | 4 |
| | <p>Прохождение полноценной трассы. Подготовка к соревнованиям. Тренировочные полеты на FPV квадрокоптерах на базе Radeo 150.</p> | 4 |
| | <p>Заключительный этап разработки собственного инженерного проекта.</p> | 5 |
| Дистанционное обучение | <p>Работа в группах над инженерным проектом.</p> | 18 |
| | <p>Работа над практической частью инженерного проекта.</p> | 6 |
| | <p>Подготовка презентации собственной проектной работы.</p> | 6 |

| | | |
|--|--|----|
| | Презентация и защита группой собственного инженерного проекта | 6 |
| | Итого: | 72 |

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Заезд 1

Теория мультироторных систем и их основы. Основы управления и подготовка на симуляторе.

⚡ Устройство мультироторных систем. Основы конструкции мультироторных систем. Принципы управления мультироторными системами.

⚡ Аппаратура радиоуправления: принцип действия, общее устройство.

⚡ Техника безопасности при работе с мультироторными системами.

⚡ Электронные компоненты мультироторных систем: принципы работы, общее устройство.

⚡ Пайка электронных компонентов: принципы пайки, обучение пайке, пайка электронных компонентов мультироторных систем.

⚡ Литий-полимерные аккумуляторы и их зарядные устройства: устройство, принцип действия, методы зарядки/разрядки/хранения/балансировки аккумуляторов, безопасная работа с оборудованием..

⚡ Полёты на симуляторе: обучение полётам на компьютере, проведение учебных полётов на симуляторе.

⚡ Бесколлекторные двигатели и их регуляторы хода: устройство, принципы их функционирования, пайка двигателей и регуляторов.

⚡ Платы разводки питания: общее устройство, характеристики, пайка регуляторов и силовых проводов к платам разводки питания.

Заезд 2.

Сборка и настройка квадрокоптера.

Разделение подготовки по разным направлениям.

Основы 3Д Моделирования.

⚡ Полетный контроллер: устройство полётного контроллера, принципы его функционирования, настройка контроллера с помощью компьютера, знакомство с программным обеспечением для настройки контроллера.

↓ Основы 3D-печати и 3D-моделирования: применяемое оборудование и программное обеспечение.

↓ Изучение основных функций продукта «Компас-3D»

↓ Изучение Ultimaker Cura. Параметров печати и слайсинг детали.

↓ Настройка параметров печати 3D принтера.

↓ Демонстрация печати на 3D принтере

↓ Изучение различных специальностей по работе с БПЛА.

Распределение подготовки обучения по направлениям: “Инженер-разработчик БПЛА”, “Сборщик и настройщик БПЛА”, “Оператор БПЛА”.

↓ Инструктаж перед первыми учебными полётами. Проведение учебных полётов в зале, выполнение заданий: «взлёт/посадка», «удержание на заданной высоте», «вперед-назад», «влево-вправо», «точная посадка на удаленную точку»,

↓ «коробочка», «челнок», «восьмерка», «змейка», «облет по кругу».

↓ Разбор аварийных ситуаций.

↓ Основы видеотрансляции: принципы передачи видеосигнала, устройство и характеристики применяемого оборудования.

↓ Установка, подключение и настройка видеооборудования на мультироторные системы. Пилотирование с использованием FPV-оборудования

Заезд 3.

Учебные полеты на квадрокоптерах собственной сборки.

Подготовка к проектам.

↓ Инструктаж по технике безопасности полетов на квадрокоптерах без вспомогательных систем управления.

↓ Обучение навыкам пилотирования квадрокоптера без вспомогательных систем управления и закрепления навыка пилотирования на симуляторе.

↓ Полёты: «удержание на заданной высоте», перемещения «вперед-назад», полёты: перемещения «влево- вправо», «точная посадка на удаленную точку», Полёты: «коробочка», «челнок», Полёты: «восьмерка», «змейка».

⤵ Настройка PID регулятора квадрокоптера после тестовых полётов.
Установка FPV системы.

⤵ Разделение на команды по подготовке к проектам, в команду входят: “Инженер-разработчик”, “Сборщик и настройщик”, “Оператор”.

⤵ Прохождение полноценной трассы. Подготовка к соревнованиям.
Тренировочные полеты на FPV квадрокоптерах на базе Radeo 150.

⤵ Заключительный этап разработки собственного инженерного проекта.

Дистанционное обучение

Работа в группах над инженерным проектом

⤵ Работа над инженерным проектом: основы планирования проектной работы, работа над проектом в составе команды.

⤵ Практическая работа в группах над инженерным проектом по теме «Беспилотная авиационная система».

⤵ Подготовка и проведение презентации по проекту.

⤵ Защита собственного инженерного проекта

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ

| Раздел или тема программы | Формы занятий | Приёмы и методы организации образовательного процесса | Дидактический материал | Техническое оснащение занятий | Формы подведения итогов |
|---|---|---|---|--|--|
| Теория мультироторных систем. Основы управления. Полёты на симуляторе. | Лекция, дискуссия, практическое занятие | Беседа по теме занятия, индивидуальная работа с ПО | Записи в тетрадях, справочный материал из ПО для полетов | Ноутбук с ПО, RC-пульт | Полёт на симуляторе без ошибок пилотирования |
| Сборка и настройка квадрокоптера. Учебные полёты. | Лекция, дискуссия, практическое занятие, workshop | Работа в группах, индивидуальная работа с ПО | Инструкция по сборке, справочный материал из ПО для полетов | Ноутбук с ПО, квадрокоптер, RC-пульт | Тестовые полёты на собственноручно собранном квадрокоптере |
| Настройка, установка FPV – оборудования | Лекция, дискуссия, практическое занятие, workshop | Работа в группах, индивидуальная работа с ПО | Справочный материал | Ноутбук с ПО, квадрокоптер, очки для FPV-полетов, FPV-модуль | Выполнение полётов с FPV-оборудованием |
| Основы 3D-печати и 3D-моделирования. | Лекция, дискуссия, практическое занятие, workshop | Работа в группах, индивидуальная работа с ПО | Справочный материал | Ноутбук с ПО, 3D принтер | Печать детали, созданной самостоятельно |
| Распределение подготовк | Лекция, дискуссия, | Работа в группах, индивиду | Справочный материа | Ноутбук, интерактивная доска | Освоение различных специально |

| | | | | | |
|--|---|--------------------|-------------------|------------------------------|--|
| и обучения по направлениям: “Инженер-разработчик БПЛА”, “Сборщик и настройщик БПЛА”, “Оператор БПЛА”. | практическое занятие, workshop | альная работа с ПО | л | | стей и понимание, кем можно работать в дальнейшем по этому направлению |
| Работа в группах над инженерным проектом. | Метод задач, метод кейсов, работа в группах | Работа в группах | Записи в тетрадях | Ноутбук, интерактивная доска | Защита проекта |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белинская Ю.С. Реализация типовых маневров четырехвинтового вертолета. Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №4. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/551872.html> (дата обращения 01.08.2021).
2. Гурьянов А. Е. Моделирование управления квадрокоптером Инженерный вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014 №8 Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/723331.html> (дата обращения 01.08.2021).
3. Ефимов. Е. Программируем квадрокоптер на Arduino: Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/227425/> (дата обращения 01.08.2021).
4. Институт транспорта и связи. Основы аэродинамики и динамики полета. Рига, 2010. Режим доступа: http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/Osnovy_ajerodnamiki_Riga.pdf (дата обращения 01.08.2021)
5. Канатников А.Н., Крищенко А.П., Ткачев С.Б. Допустимые пространственные траектории беспилотного летательного аппарата в вертикальной плоскости.

6. Мартынов А.К. Экспериментальная аэродинамика. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1950. 479 с. 13. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб: Питер, 2005. 337
7. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №3. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/367724.html> (дата обращения 01.08.2021).
8. Редакция Tom's Hardware Guide. FPV- мультикоптеры: обзор технологии и железа. 25 июня 2014. Режим доступа: http://www.thg.ru/consumer/obzor_fpv_multicopterov/print.html (дата обращения 31.10.2016)
9. Alderete T.S. "Simulator Aero Model Implementation" NASA Ames Research Center, Moffett Field, California. P. 21. Режим доступа: <http://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/publications/hitl/rtsim/Toms.pdf> (дата обращения 31.10.2016)
10. Bouadi H., Tadjine M. Nonlinear Observer Design and Sliding Mode Control of Four Rotors Helicopter. World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 25, 2007. Pp. 225-229. 11. Madani T., Benallegue A. Backstepping control for a quadrotor helicopter. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006. Pp. 3255-3260.
11. Dikmen I.C., Arisoy A., Temeltas H. Attitude control of a quadrotor. 4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, 2009. Pp. 722-727. 4. Luukkonen T. Modelling and Control of Quadcopter. School of Science, Espoo, August 22, 2011. P. 26. Режим доступа: http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/eluu11_public.pdf (дата обращения 01.08.2021).
12. LIPO SAFETY AND MANAGEMENT: Режим доступа: <http://aerobot.com.au/support/training/lipo-safety> (Дата обращения 20.07.2021)
13. Murray R.M., Li Z, Sastry S.S. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. SRC Press, 1994. P. 474
14. Zhao W., Hiong Go T. Quadcopter formation flight control combining MPC and robust feedback linearization. Journal of the Franklin Institute. Vol.351,

Issue 3, March 2014. Pp. 1335-1355. DOI: 10.1016/j.jfranklin.2013.10.021

15. Лекции от «Коптер-экспресс» <https://youtu.be/GtwG5ajQJvA?t=1344>
16. Различные вакансии на работу по этой специальности, перспективы и востребованность <https://hi-fly.ru/vakansii> .

