

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Красноярский государственный аграрный университет

Институт инженерных систем и энергетики  
Кафедра системознергетики

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ УНИВЕРСАЛЬНОГО БПЛА  
НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Выполнил:  
аспирант КрасГАУ  
Митрашук Владимир Владимирович  
Руководитель:  
профессор, д.т.н.  
Баранова Марина Петровна

Красноярск 2021

# Введение

**Цель диссертации:** определение универсальной конструкции, технических возможностей и разработка системы управления БПЛА на основе проблем сельского хозяйства.

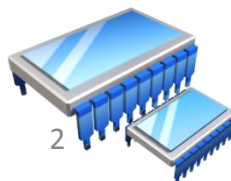
**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

1. Изучить существующий опыт применения БПЛА для решения проблем сельского хозяйства, сформулировать требования к универсальной конструкции БПЛА, провести анализ общих технических возможностей электрических БПЛА, провести сравнение универсальной конструкции с существующими вариантами универсальных БПЛА.

2. Обосновать применение БПЛА универсальной конструкции в растениеводстве, сравнить преимущества и недостатки использования БПЛА универсальной конструкции с альтернативными технологиями в растениеводстве, определить технические возможности БПЛА при обработке полей.

3. Определить базовые уравнения кинематики БПЛА универсальной конструкции, разработать на их основе математическую модель процесса полета БПЛА универсальной конструкции с алгоритмами управления и стабилизации, с возможностью в режиме реального времени прогнозировать характер движения БПЛА и на основании этого принимать решения об оптимальных параметрах работы алгоритмов в зависимости от условий эксплуатации БПЛА.

4. Исследовать защищенный протокол дистанционного управления БПЛА. Проанализировать существующие защищенные протоколы передачи информации. Разработать блок-схему защищенного протокола. Определить алгоритмы шифрования для защищенного протокола. Разработать программу алгоритма шифрования и исследовать ее работу.



# Актуальность исследования

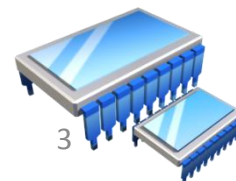
Перспективной технологией для применения в сельском хозяйстве являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Ожидается, что **эффект от качественного их внедрения будет сопоставим с появлением плуга, трактора и комбайна в свое время.**

БПЛА позволяют решать большое количество различных задач сельского хозяйства в области точного земледелия, обработки полей, мониторинга и диагностики, транспортировки, регулирования климата (например, высев облаков), в животноводстве и других областях.

21 апреля 2021 года в Послании Федеральному собранию Президент России предложил ответить на вызовы изменений климата, **адаптировать к ним сельское хозяйство, промышленность, ЖКХ, всю инфраструктуру, создать отрасль по утилизации углеродных выбросов, добиться снижения их объемов и ввести здесь жесткий контроль и мониторинг.**

В данной работе рассматриваются электрические БПЛА, которые являются экологически чистыми и не причиняют вреда окружающей среде. Благодаря своим небольшим размерам, дистанционному управлению, простоте эксплуатации, доступности и дешевизне элементов конструкции электрические БПЛА позволяют решать множество проблем сельского хозяйства без существенных затрат на обслуживающую инфраструктуру и ремонт, включая своевременные контроль и мониторинг.

Для решения проблем сельского хозяйства необходимо создать более продвинутые, точные и стабильные, высокоавтоматизированные универсальные БПЛА, требующие минимальной подготовки.



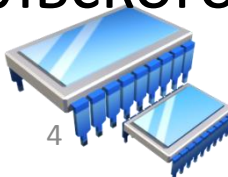
# Глава 1. Применение БПЛА для решения проблем сельского хозяйства

Задачи мониторинга и лазерной обработки растений требуют высоких показателей **продолжительности полета, скорости и стабильности платформы для точности измерений.**

Задачи распыление гербицидов, пестицидов, жидких удобрений, воды; применение гипсовых гранул для опыления почв и др., – требуют от БПЛА **высоких показателей грузоподъемности, маневренности, возможности полета на низкой высоте.**

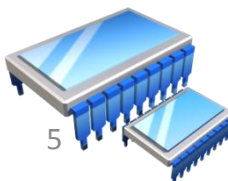
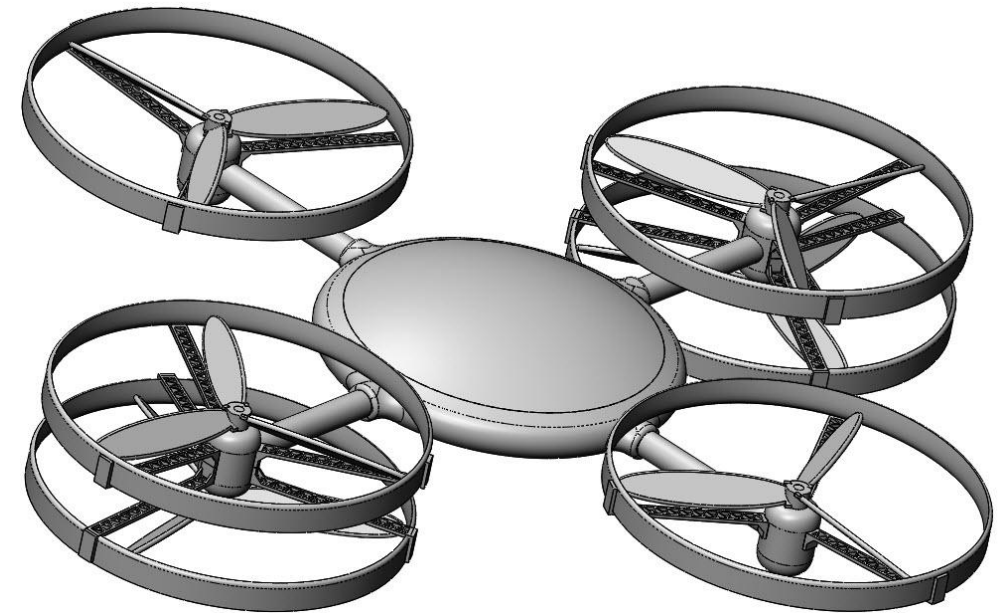
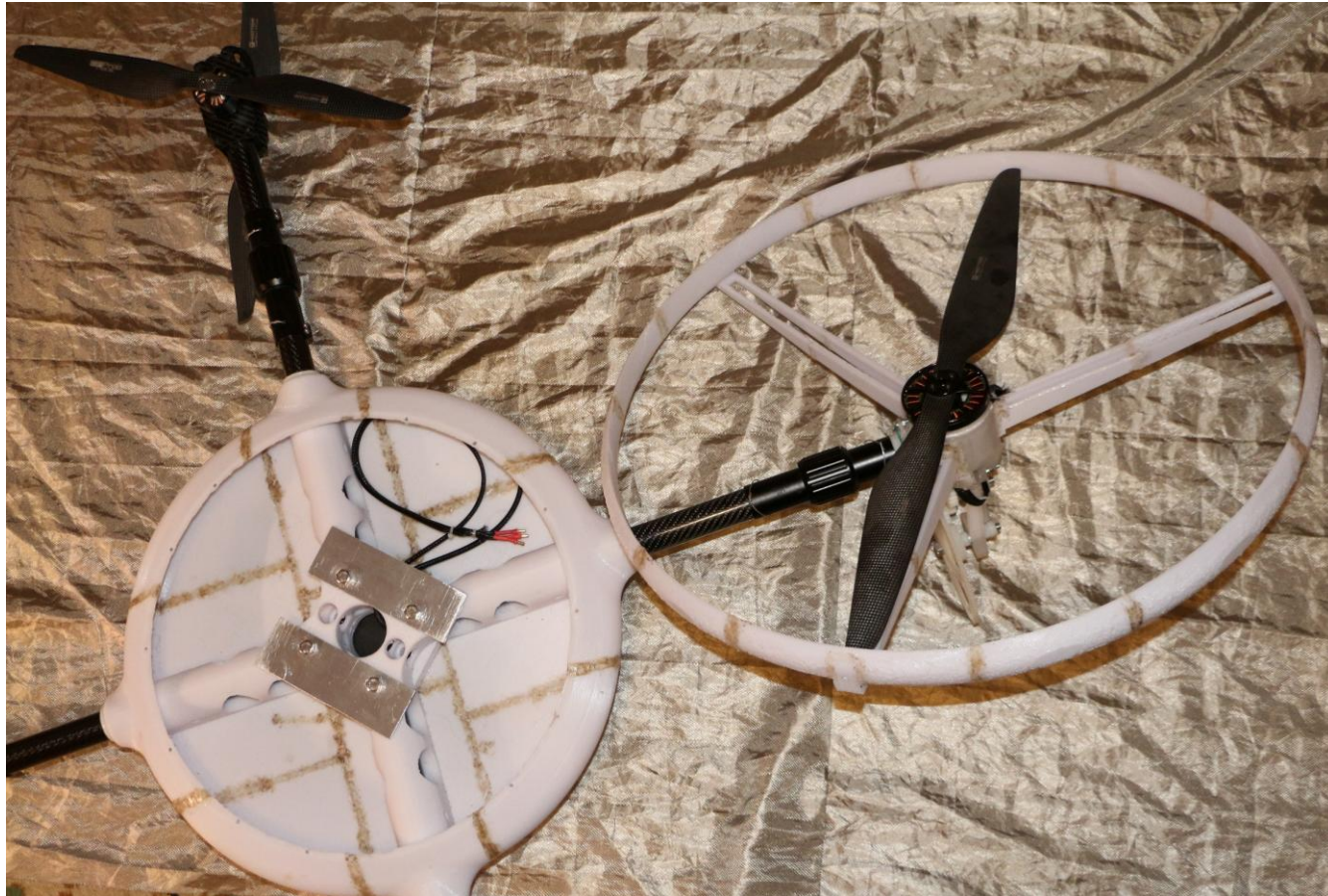
Анализ состава почвы; защита стада на свободном выпасе от диких животных; масштабная посадка саженцев деревьев в целях восстановления лесов; установка, проверка улова, забор сетей и ловушек на рыбу с удерживающим поплавком, – требует от БПЛА **возможности полета на низкой скорости и зависание в воздухе.**

В итоге, сделан вывод, что **решить комплексные проблемы сельского хозяйства способен только БПЛА гибридного типа.**



# Глава 1. Определение универсальной конструкции БПЛА на основе решения проблем сельского хозяйства

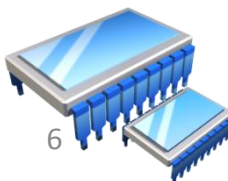
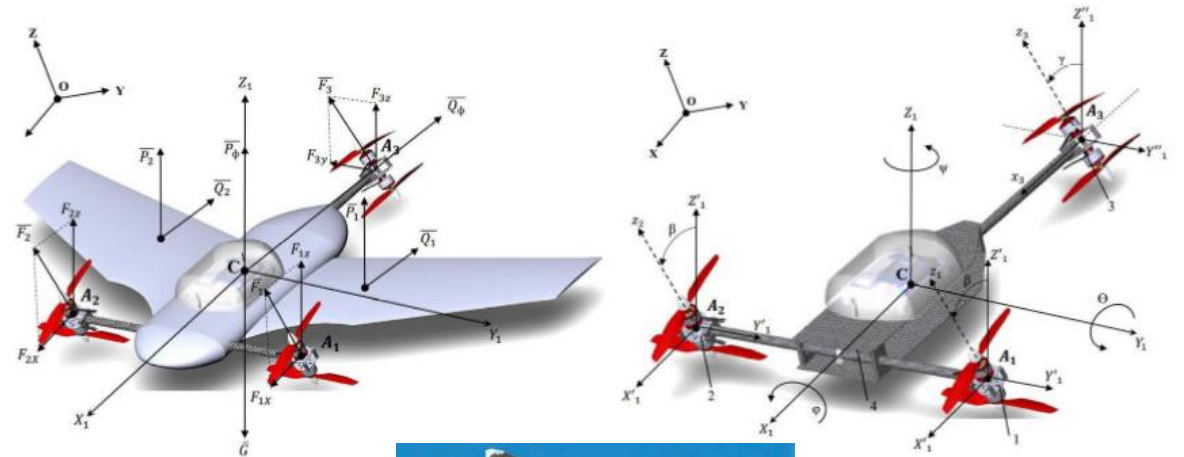
В качестве гибридной конструкции предложен БПЛА состоящий из 6 моторов. Одна ось моторов состоит из двух вращающихся винтовых моторов и шаговых двигателей, вторая – из двух пар соосных моторов.



# Глава 1. Исследование и сравнение аналогичных конструкций

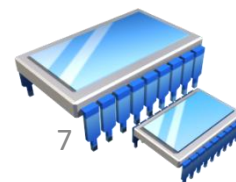
Данная конструкция лучше других решений гибридного типа обеспечивает стабильность работы благодаря:

1. Размещению моторов на одинаковом расстоянии от центра масс.
2. Прикреплению аппаратуры к центру масс БПЛА.
3. Отсутствию крыльев.
4. Параллельности платформы БПЛА земле при движении в любых комбинация (в том числе, по спирали вверх и вниз).



# Глава 1. Исследование вращающегося мотора БПЛА

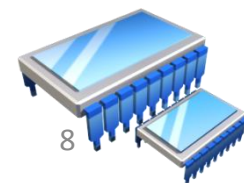
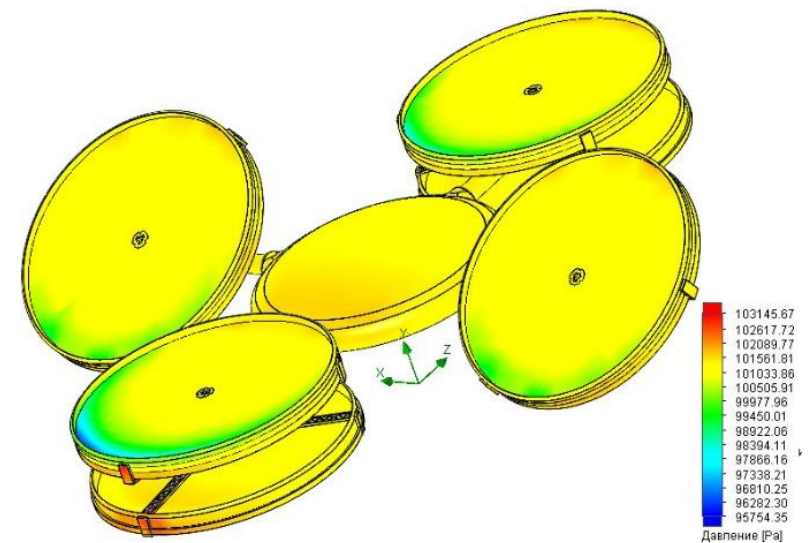
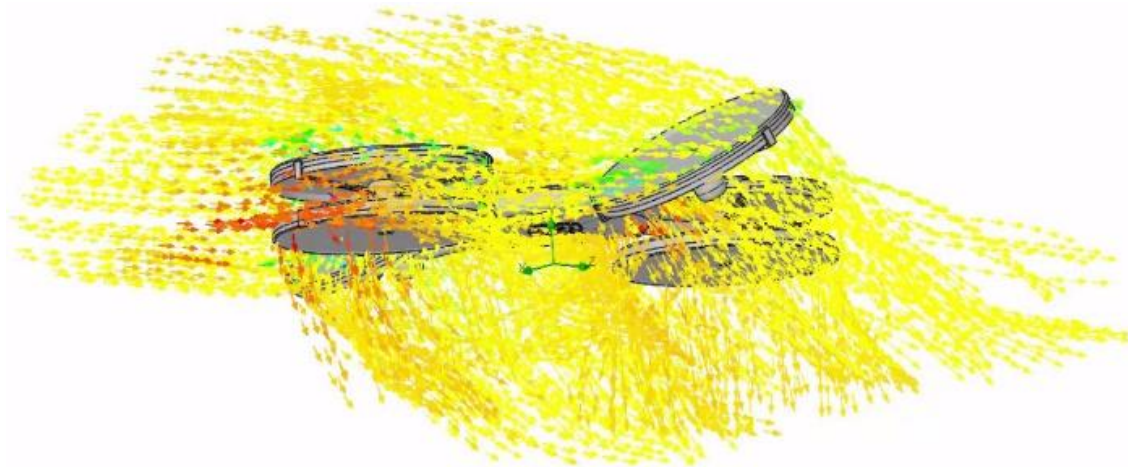
Исследован механизм перемещения в пространстве платформы БПЛА и определена конструкция поворотного механизма на шаговых двигателях. Решено использовать для исследований более стабильный вариант. Данный механизм протестирован. Он осуществляет вращение поворотного механизма на 90 градусов вперед и назад. Протестировано при токе 19А и силе тяги 2.6кг, крутящий момент  $2 \text{ Н} \cdot \text{см}$ .



# Глава 1. Технические возможности электрических БПЛА и аэродинамика корпуса универсальной конструкции

Определены технические возможности электрических БПЛА: максимальная скорость передвижение от 700 до 950 км/ч и более; высота полета более 10 км; дальность связи скоростного Wi-Fi 300м со скоростью 600 Мбит/с; дальность связи на частоте 433МГц до 20 км со скоростью от 2 до 19 килобит/с; устойчивость к ветру и порывам ветра со скоростью 10-15 м/с и более с повышением электропотребления; разрешение снимков около 0.5-10см, поле зрения 50-500м; простота обеспечения влагозащиты и режима работы под водой; эффективный тип аккумуляторов – Li-ion.

По результатам анализа аэродинамики корпуса, сделан вывод о необходимости модификации внешней стороны кольца винтов из плоской в округлую форму.





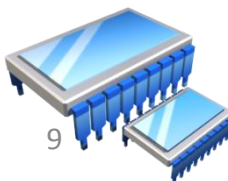
# Глава 2. Обоснование применения БПЛА универсальной конструкции в растениеводстве

Контроллер ESC принимает на входе от 18 В до 25.2 В, работает при скважности ШИМ более 55%. Все двигатели T-Motor MN7005-KV230.

Li-ion, 21.6 В, 4.26 гр/Втч	Общий вес БПЛА, гр	25 656 (3 656)	20 656 (3 656)
	Вес полезной нагрузки, гр	10 000	5 000
	Вес аккумулятора, гр	12 000	
	Работа аккумулятора до полного разряда, Втч	2 817	
	Продолжительность полета	48 мин	56 мин
	Максимальная скорость, км/ч	90	255
	Время разгона до 54 км/ч, с	57	6
	Токоотдача	Свыше 100А	

**Использование водорода из баллона для генерации электроэнергии повысит продолжительность полета БПЛА в 3-5 раз.**

С целью обоснования использования БПЛА в растениеводстве, получены характеристики БПЛА универсальной конструкции, из которых очевидно, что конструкция от других квадрокоптеров отличается кроме стабильности передвижения платформы еще и высокими скоростными показателями, как у самолета. Также было получено время разгона БПЛА в зависимости от полезной нагрузки.



# Глава 2. Обоснование применения БПЛА универсальной конструкции в растениеводстве

Проведены расчеты использования БПЛА на единичном поле размером 1 Га. Установлено, что **БПЛА универсальной конструкции, способен распылить над полем размером в 1 гектар около 360 кг вещества за час или 8.64 т за день**, что подтверждается расчетами и математическим моделированием процесса полета БПЛА универсальной конструкции.

Отмечено, что БПЛА универсальной конструкции способен **самостоятельно производить заправку реагентами и производить автоматическую замену аккумуляторов при помощи бесконтактной зарядной станции**, имея на борту два сменных аккумулятора **без простоя на время зарядки**.

**360 кг за час**  
**8.64 т за день**  
(длина полосы 100 м, площадь 300м<sup>2</sup>, цикл облета 100 сек, 36 полос/час)



**a** Диагностика внешнего состояния, Диагностика вредителей



**10 кг**

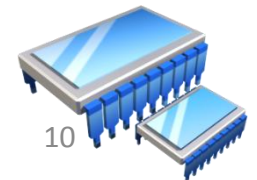
25 м, 20 сек + заправка + заправка веществом 20 сек

**c** **Заправка вещества**

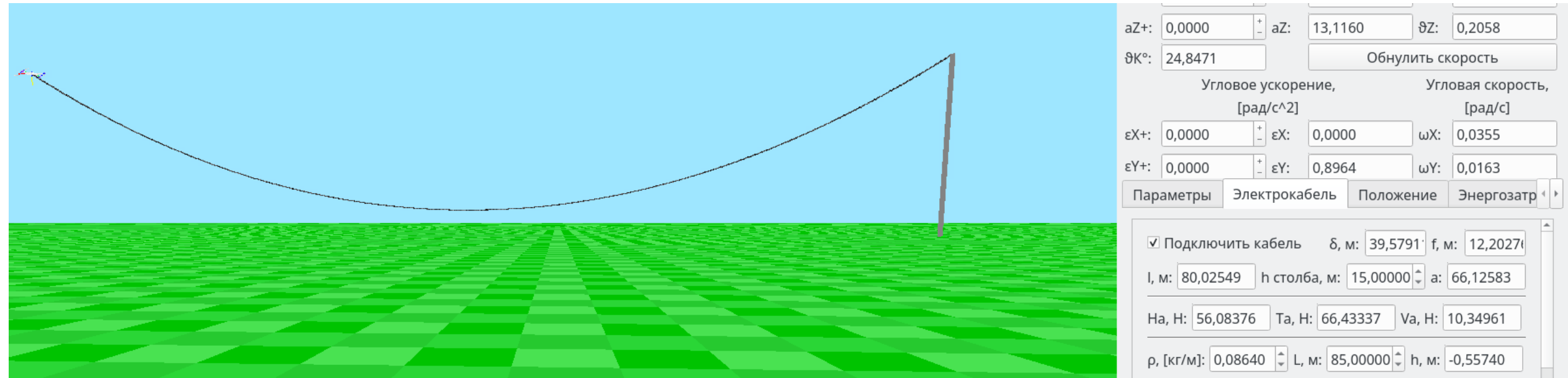
**d** **Электростанция**

Смена АКБ	Зарядка АКБ
-----------	-------------

**АКБ: 12 кг, 2 817 Втч (30 зарядов за день)**

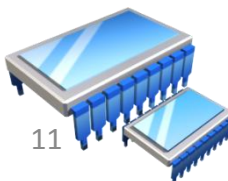


# Глава 2. Исследование возможности стабильного полета БПЛА с прикрепленным к нему кабелем или шлангом



При помощи математической модели **подтверждена возможность стабильного полета** (сохраняя платформу параллельно земле) **БПЛА универсальной конструкции с прикрепленным к нему электрическим проводом или шлангом с реагентами.**

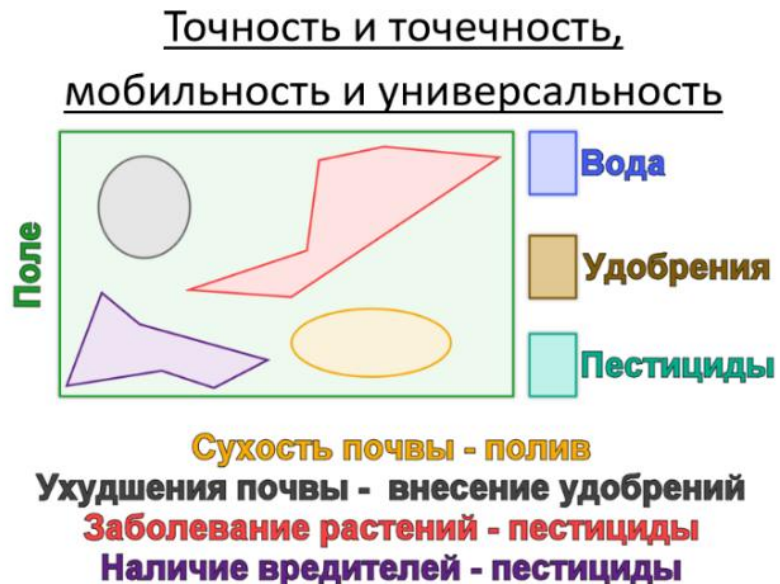
Например, БПЛА со сбрасываемой грузоподъемностью в 10 кг способен растягивать вбок на 80м и поднимать полностью вверх кабель длиной 85 метров с массой 1 метра 0.0864кг. **В модели возможно произвести расчет параметров проводов с другими характеристиками.**



# Глава 2. Сравнение с альтернативными технологиями сельского хозяйства

В результате сравнения с другими технологиями сельского хозяйства, сделан вывод, что технология электрического БПЛА обладает следующими преимуществами: **точность и точечность проводимых операций, мобильность и универсальность, простота ремонта и эксплуатации, экологичность.**

**Точное земледелие с использованием БПЛА способно уменьшить применение вредных химических веществ (фунгициды, гербициды, инсектициды, бактерициды и др.) и сэкономить деньги за счет использования более дорогих и качественных средств с их внесением только на те участки, где они необходимы.**

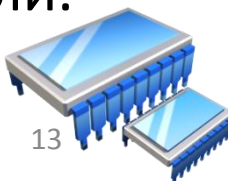


# Глава 3. Определение базовых уравнений движения БПЛА универсальной конструкции

$$\begin{aligned}a_z &= \frac{1}{m} ((F_{TC11} + F_{TC12}) + (F_{TC21} + F_{TC22}) + (F_{TK1} \sin \alpha + F_{TK2} \sin \alpha)) \\a_x &= \frac{1}{m} (F_{TK1} \cos \alpha + F_{TK2} \cos \alpha) \\ \varepsilon_x &= \frac{r_c}{I_x} [(F_{TK1} \sin \alpha - F_{TK2} \sin \alpha) + \frac{1}{d_B} (M_{BK1} \cos \alpha - M_{BK2} \cos \alpha)] \\ \varepsilon_y &= \frac{r_c}{I_y} [(F_{TC11} + F_{TC12}) - (F_{TC21} + F_{TC22})] \\ \varepsilon_z &= \frac{r_c}{I_z} [(F_{TK1} \cos \alpha - F_{TK2} \cos \alpha) + \\ &+ \frac{1}{d_B} \{((M_{BC11} - M_{BC12}) - (M_{BC21} - M_{BC22})) + (M_{BK1} \sin \alpha - M_{BK2} \sin \alpha)\}] \end{aligned}$$

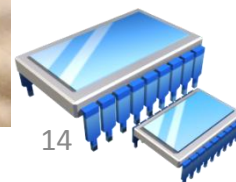
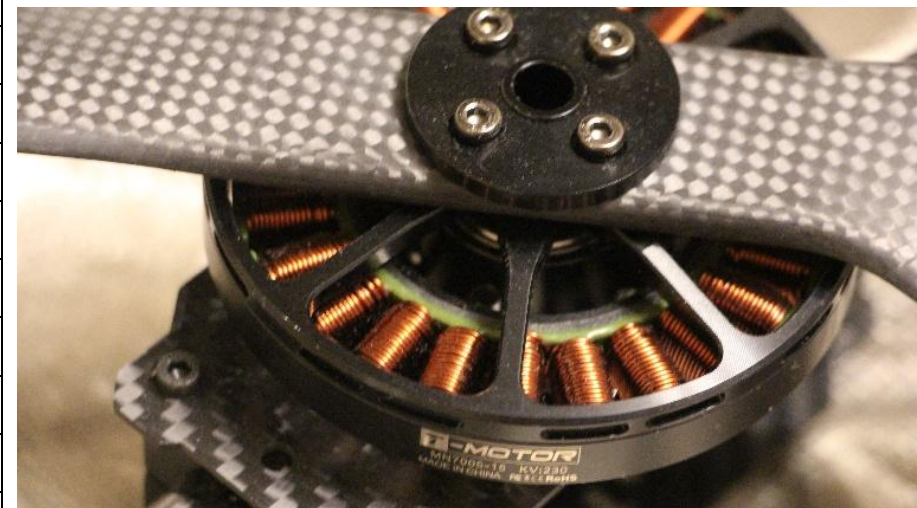
В результате разработки математической модели БПЛА универсальной конструкции получены базовые уравнения движения: формулы расчета зависимости поступательного движения и углового ускорения от силы тяги винтовых моторов.

Представленные базовые уравнения движения БПЛА описывают в виде формул основные особенности поведения БПЛА универсальной конструкции и являются неотъемлемой частью необходимой для работы созданной математической модели.



# Глава 3. Определение дополнительных параметров и закономерностей для расчета математической модели

Представлена таблица с характеристиками винтового мотора MN7005-KV230-24V (ШИМ, крутящий момент, грузоподъемность, мощность), по дискретным данным которой при помощи метода аппроксимации получены формулы зависимостей: ШИМ от грузоподъемности, ШИМ от крутящего момента, ШИМ от потребляемой мощности.



Характеристики мотора MN7005-KV230-24V							
ШИМ	M, Н*м	Trust, кг	W, Вт	ШИМ	M, Н*м	Trust, кг	W, Вт
0.40	0.39	1,407	104.60	0.60	0.65	2,491	241.40
0.42	0.42	1,501	113.88	0.62	0.69	2,605	258.50
0.44	0.43	1,592	123.19	0.64	0.72	2,708	273.39
0.46	0.46	1,698	135.63	0.66	0.75	2,841	297.29
0.48	0.49	1,837	152.48	0.68	0.78	2,948	317.15
0.50	0.52	1,951	167.01	0.70	0.81	3,060	335.87
0.52	0.54	2,063	181.11	0.75	0.89	3,344	386.77
0.54	0.57	2,153	193.69	0.80	0.96	3,632	438.46
0.56	0.60	2,261	208.71	0.90	1.12	4,184	550.60
0.58	0.63	2,378	225.12	1.00	1.28	4,691	670.20

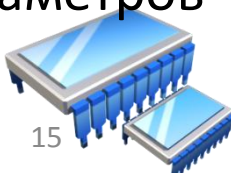
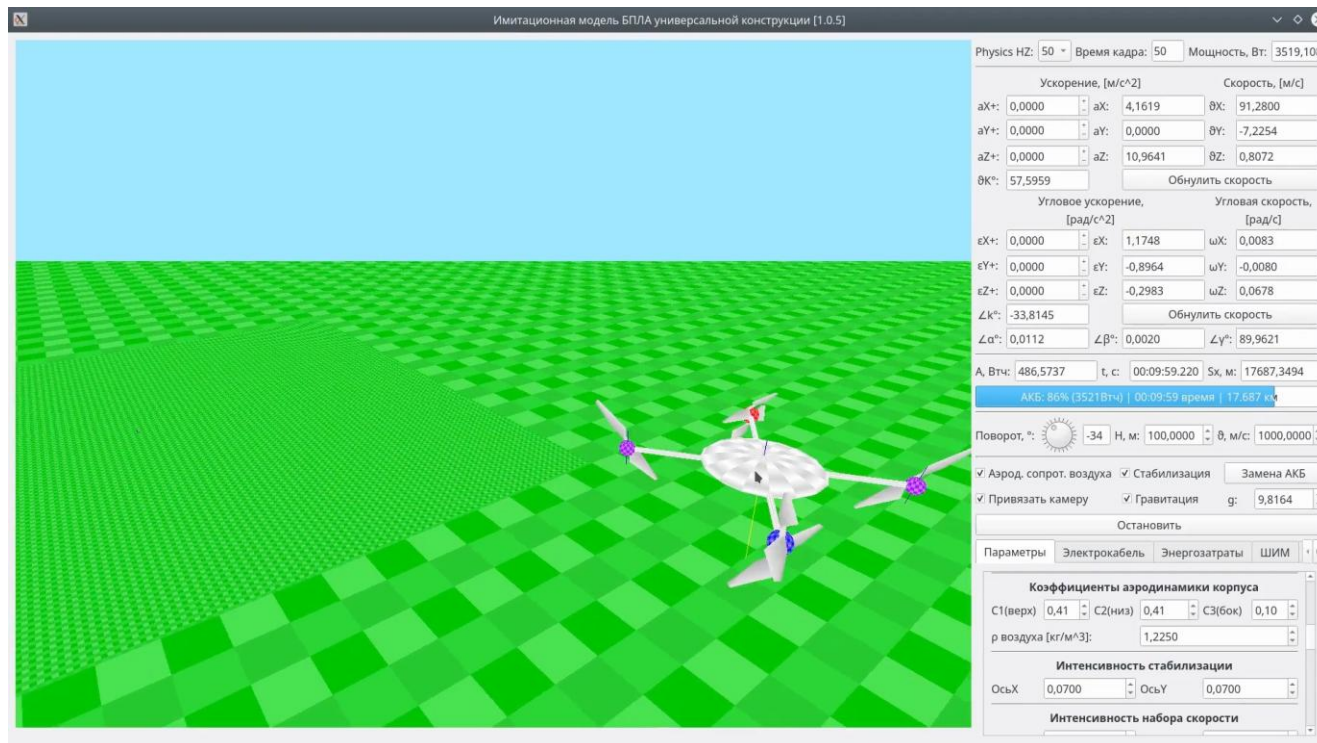
# Глава 3. Разработка математической модели системы управления БПЛА универсальной конструкции

Создана программная реализация математической модели процесса полета с алгоритмами системы управления движением и стабилизацией (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020612620 от 27.02.20).

Она позволяет в режиме реального времени прогнозировать характер движения БПЛА и на основании этого определять оптимальные параметры и режимы работы алгоритмов системы управления и стабилизации в зависимости от условий эксплуатации, выполняемых функций и задач.

В том числе, модель позволяет подобрать эффективную массу, аэродинамику корпуса, винтомоторную пару, аккумуляторные батареи, кабель электропитания до момента их приобретения с учетом воздействия ветра в процессе эксплуатации и других факторов.

Модель определяет энергозатраты БПЛА в процессе полета от каждого из 6 двигателей. Благодаря этому вычисляется текущий расход батареи, пройденный путь и продолжительность полета БПЛА с учетом заданных в данный момент параметров модели БПЛА.



# Глава 3. Разработка математической модели системы управления БПЛА универсальной конструкции

Получен первый рабочий вариант алгоритма системы управления движением и стабилизацией, проверенный в программной реализации математической модели процесса полета с алгоритмами системы управление движением и стабилизацией (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020612620 от 27.02.20).

В том числе, получены формулы регулирования ШИМ сигнала характеризующие особенности поведения винтовых моторов БПЛА универсальной конструкции, а также, алгоритмы удержания скорости, высоты, углов.

$$PWM_{K_1} = (PWM_{max} - PWM_{ksryb}^{max}) + \left( -\frac{PWM_{ks}^{max}}{2} + PWM_{ks} \right)$$

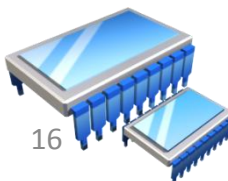
$$PWM_{K_2} = (PWM_{max} - PWM_{ksryb}^{max}) + \left( -\frac{PWM_{ks}^{max}}{2} - PWM_{ks} \right)$$

$$PWM_{C_{11}} = (PWM_{min} + PWM_H) + \left( \frac{PWM_k^{max}}{2} + PWM_k \right) + \left( \frac{PWM_s^{max}}{2} + PWM_s \right)$$

$$PWM_{C_{12}} = (PWM_{min} + PWM_H) + \left( \frac{PWM_k^{max}}{2} - PWM_k \right) + \left( \frac{PWM_s^{max}}{2} + PWM_s \right)$$

$$PWM_{C_{21}} = (PWM_{min} + PWM_H) + \left( \frac{PWM_k^{max}}{2} - PWM_k \right) + \left( \frac{PWM_s^{max}}{2} - PWM_s \right)$$

$$PWM_{C_{22}} = (PWM_{min} + PWM_H) + \left( \frac{PWM_k^{max}}{2} + PWM_k \right) + \left( \frac{PWM_s^{max}}{2} - PWM_s \right)$$



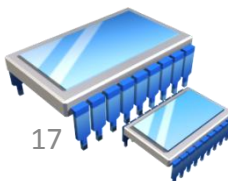
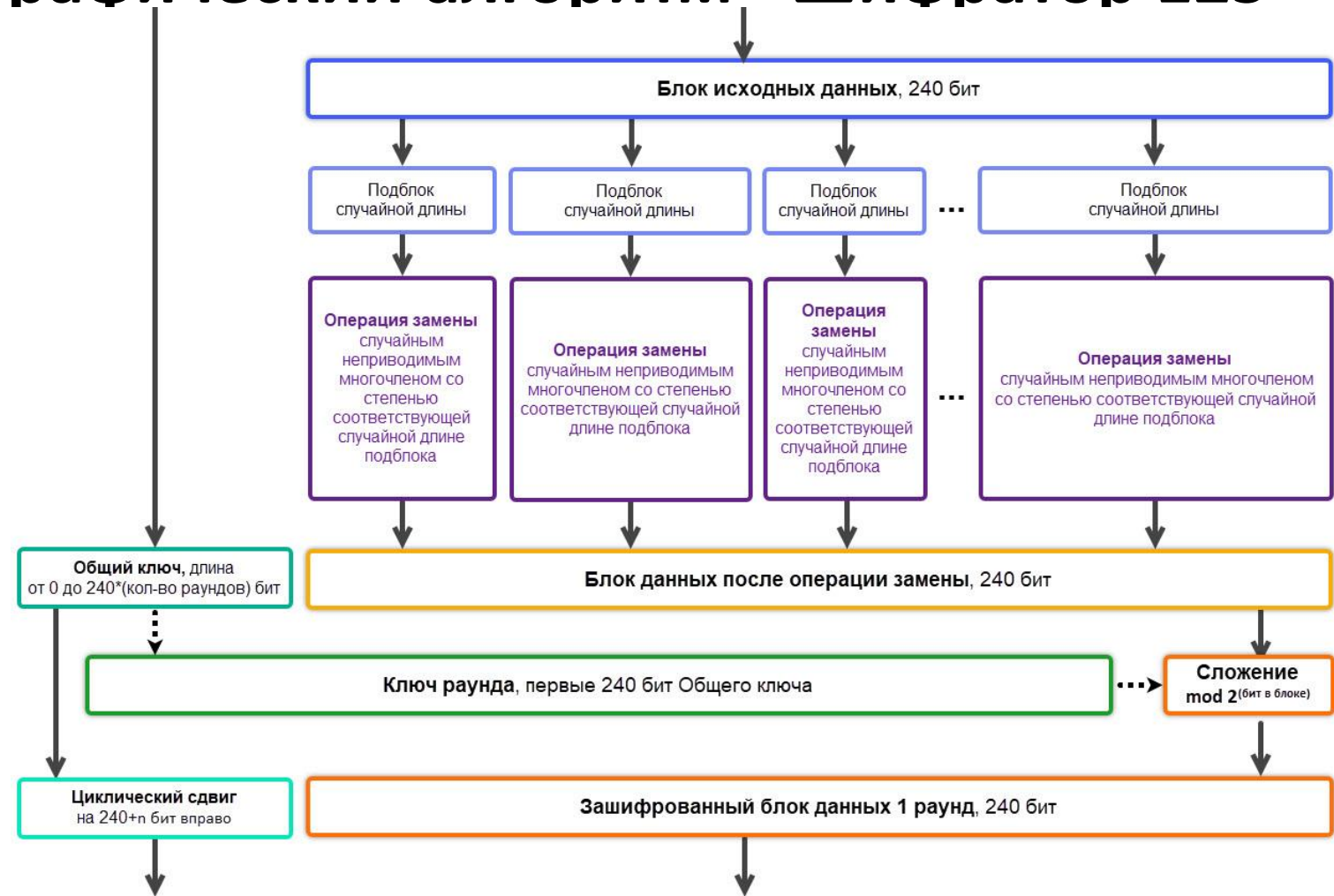


# Глава 4. Разработка защищенного алгоритма дистанционного управления БПЛА. Криптографический алгоритм «Шифратор 125»

С целью обеспечения защищенной дистанционной связи с БПЛА определен алгоритм шифрования «Шифратор 125» с наибольшим количеством свободных входных параметров.

Он показал устойчивость к стандартным методам криптоатак на блочные симметричные шифры лучше, чем другие распространенные решения, благодаря использованию случайной фрагментации подблоков и генерации случайных неприводимых многочленов со степенью соответствующей случайной длине подблока.

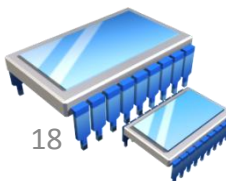
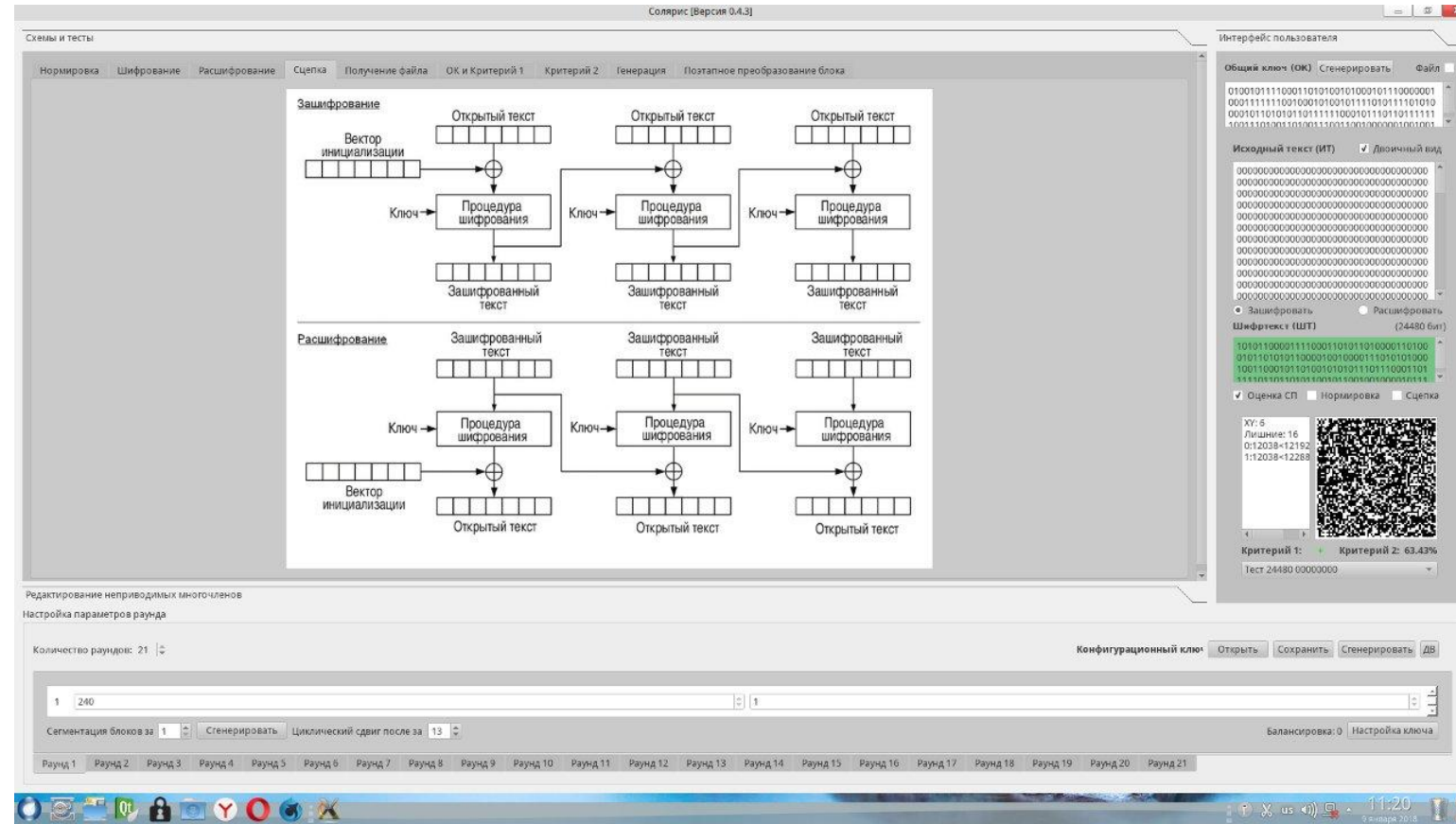
В лучших образцах аналогов задействованы лишь таблицы замен, причем, небольших размером (4, 8 битные таблицы, против 240 битной).



# Глава 4. Программный комплекс «Шифратора 125» и генератора ключей

Получен программный комплекс шифрования файлов и текстов «Шифратор 125» с модулями автоматических тестов случайности выходных шифртекстов и генератор случайных ключей (случайных неприводимых многочленов). Программа на данный момент позволяет шифровать текстовые сообщения и любые файлы со средней скоростью 120 килобайт/с на Intel i7 3537U без распараллеливания шифрования и использования оптимизированных библиотек (IPP/MKL Intel, mediaLib/Perflib Oracle, ACML/APL AMD, EML Эльбрус и др.).

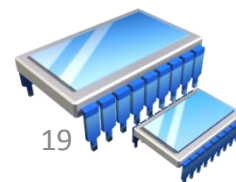
Определена скорость генерации случайного неприводимого многочлена. Алгоритм (основан на алгоритме Берлекемпа) способен генерировать многочлен любой степени, но скорость генерации исследована до степени полинома 241 и в среднем составляет от 3 до 15 минут для одного многочлена.



# Глава 4. Требования к протоколу телеметрии и телеуправления

Определены минимальные критерии, которым должен удовлетворять протокол защищенной передачи информации БПЛА:

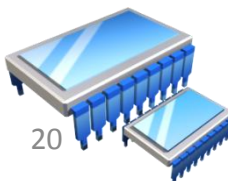
1. Поддержка TCP/UDP, транспортного уровня модели OSI. Для обеспечения совместимости с большим количеством оборудования.
2. Скорость шифрования должна быть сопоставима скорости UART.
3. Использование только симметричного шифрования.
4. Задание необходимого объема данных, после отправки которого передается новый ключ, в том числе, возможность создания условий авторизации каждого пакета новым ключом.
5. Имитозащита должна производиться не по хэшу с паролем, а по алгоритму шифрования.
6. Алгоритм шифрования должен быть лучше других решений защищен от атаки полным перебором и близок к получению всего множества исходных текстов при таком переборе на выходе. Обладать наибольшим количеством свободных входных параметров.
7. Защита от атаки вызовом отказа в обслуживании.
8. Защита от коллизий хэша служебных полей. Минимизация риска принятия некорректного сообщения.



# Глава 4. Анализ соответствия требованиям протоколов передачи данных

Протокол	TCP/UDP	Скорость UART	Только симметричный шифр	Авторизация новым ключом по объему данных	Имитация по шифру	Защита от отказа в обслуживании	Защита от коллизий служебных полей	Лучшая защита от атаки перебором
WEP								Взлом перехватом 200000 пакетов
PPTP								Подбор ключа за 23 часа
GSM A5/1, A5/3								Известны способы взлома
IPsec	Сетевого уровня	Достаточна	Диффи-Хеллман	Отсутствует	По хэшу	Да	Нет	DES, 3DES
OpenVPN	Транспортный уровень	Достаточна	Возможно	Отсутствует	По хэшу	Да	Нет	Могут быть использованы передовые шифры
HTTPS	Прикладной	Достаточна	Сертификат	Отсутствует	Отсутствует	Нет	Нет	Могут быть использованы передовые шифры
WPA2/PSK	Канальный	Достаточна	Да	Отсутствует	Отсутствует	Нет	Нет	Использованы передовые шифры
SSH	Прикладной	Достаточна	Диффи-Хеллман	Отсутствует	По хэшу	Да	Нет	Могут быть использованы передовые шифры
Протокол 125	Транспортный уровень	120 килобайт /с	Да	Да	Да	Да	Да	Да

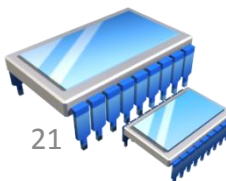
Проведен анализ существующих распространенных протоколов защищенной передачи информации. Обоснована необходимость разработки нового протокола с учетом всех достоинств существующих решений и необходимых требований для обеспечения защищенной связи с БПЛА.



# Глава 4. Описание блок-схемы и принципов работы «Протокола 125»



Составлена блок-схема инициализации сессии и подробное описание для «Протокола 125», полностью удовлетворяющего требованиям необходимыми для защищенного дистанционного управления специализированным БПЛА универсальной конструкции.



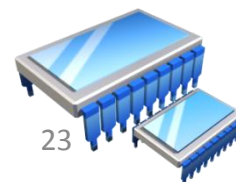
# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В качестве специализированного электрического устройства для комплексного решения проблем сельского хозяйства представлен гибридный БПЛА универсальной конструкции, состоящий из 6 моторов. Одна ось моторов состоит из двух вращающихся винтовых моторов и шаговых двигателей, вторая – из двух пар соосных моторов. Данный БПЛА, являясь квадрокоптером, обладает максимальной стабильностью работы и высокой скоростью, что позволяет выполнять поставленные перед ним задачи наиболее эффективно.
2. Предложенный БПЛА универсальной конструкции, способен распылить над полем размером в 1 гектар около 360 кг вещества за час или 8.64 т за день, что подтверждается расчетами и математическим моделированием процесса полета БПЛА универсальной конструкции.
3. Подтверждена возможность стабильного полета БПЛА универсальной конструкции с прикрепленным к нему проводом или шлангом с реагентами, при помощи математического моделирования, что позволяет использовать его при прокладке электросетей и обработке полей.
4. Установлено, что в отличие от других технологий сельского хозяйства БПЛА обладает следующими преимуществами: точность и точечность проводимых операций, мобильность и универсальность, простота ремонта и эксплуатации, экологичность.



# ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

5. Создана программная реализация математической модели процесса полета с алгоритмами системы управления движением и стабилизацией (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020612620 от 27.02.20). Она позволяет в режиме реального времени прогнозировать характер движения БПЛА и на основании этого определять оптимальные параметры и режимы работы алгоритмов системы управления и стабилизации в зависимости от условий эксплуатации, выполняемых функций и задач. В том числе, модель позволяет подобрать эффективную массу, аэродинамику корпуса, винтомоторную пару, аккумуляторные батареи, кабель электропитания до момента их приобретения с учетом воздействия ветра в процессе эксплуатации и других факторов. Модель определяет энергозатраты БПЛА в процессе полета от каждого из 6 двигателей. Благодаря этому вычисляется текущий расход батареи, пройденный путь и продолжительность полета БПЛА с учетом заданных в данный момент параметров модели БПЛА.
6. Получен первый рабочий вариант алгоритма системы управления движением и стабилизацией, проверенный в программной реализации математической модели процесса полета с алгоритмами системы управление движением и стабилизацией (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020612620 от 27.02.20).
7. Определен алгоритм шифрования «Шифратор 125» для использования в протоколе дистанционного управления БПЛА, который показал наибольшее количество свободных входных по сравнению с широкораспространенными решениями.
8. Получен программный комплекс шифрования файлов и текстов «Шифратор 125» с модулями автоматических тестов случайности выходных шифртекстов и генератор случайных ключей (случайных неприводимых многочленов). Программа на данный момент позволяет шифровать текстовые сообщения и любые файлы со средней скоростью 120 килобайт/с на Intel i7 3537U.
9. Доказана эффективность использования генератора неприводимых случайных многочленов для генерации ключей алгоритма шифрования. Алгоритм (основан на алгоритме Берлекемпа) способен генерировать многочлен в среднем от 3 до 15 минут для одного многочлена со степенью меньшей 241.
10. Обоснована необходимости разработки нового защищенного протокола дистанционной связи с БПЛА. Разработана блок-схема алгоритма работы протокола защищенной связи с БПЛА.

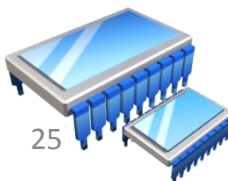


Спасибо за внимание!



**Замечание 1. На наш взгляд в цели работы следовало указать «обоснование универсальной конструкции...», а не ее определение.**

Ответ: в работе происходит определение универсальной конструкции БПЛА на основе решение проблем сельского хозяйства. В целом предложение использовать «обоснование универсальной конструкции...» тоже допустимо и учитывая сделанное замечание в дальнейшем будет использована предложенная формулировка.



**Замечание 2. В тексте диссертации автору следовало указать, какому пункту специальности 05.20.02 Электротехнологии и электрооборудование соответствует выполненное им научное исследование**

Ответ: в ходе подготовки диссертации изучено в базе ВАК не менее 10 защищенных диссертаций. Ни в одной из них не было представлено к какому пункту специальности относится диссертационное исследование. Кроме этого, защищать данную работу планируется в специальности 05.13.05. В текущий момент происходит защита выпускной квалификационной работы в рамках ФГОС 35.06.04, где нет требования указывать в ВКР пункт специальности 05.20.02.

Направленность (профиль) подготовки, даже если он совпадает с названием паспорта научной специальности не является доказательством того, что ВКР выполненная в рамках ФГОС 35.06.04 должна ему соответствовать. Она должна соответствовать направленности (профилю) «Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве», а также может находиться в смежных областях в рамках ФГОС 35.06.04. **В соответствии с действующим ГОСТ 18311-80:**

**2. Электрооборудование (Electrical equipment)** – совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками.

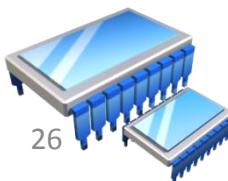
**1а. Электротехническое устройство (Electrical equipment)** – совокупность взаимосвязанных электротехнических изделий, находящихся в конструктивном и (или) функциональном единстве, предназначенная для выполнения определенной функции по производству или преобразованию, передаче, распределению или потреблению электрической энергии.

**1. Электротехническое изделие** – изделие, предназначенное для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии.

Из этого следует, что рассматриваемый в данной работе электрический БПЛА полностью соответствует профилю подготовки ФГОС 35.06.04, так как состоит исключительно из электрических устройств и генераторов электрической энергии.

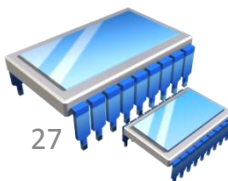
Но не смотря на это, данную работу можно отнести к областям исследования паспорта научной специальности ВАК 05.20.02 таким, как:

1. Обоснование и исследование методов и средств электротехнологий для малоотходных, безотходных и экологически чистых технологических процессов сельского хозяйства.
2. Исследование и разработка систем и элементов электропривода, технологических машин и поточных линий в растениеводстве и животноводстве, процессах производства, хранения и переработки продуктов.
3. Разработка ресурсосберегающих и безопасных электрифицированных систем и технических средств для энергоемких процессов в быту сельского населения.



**Замечание 3. В диссертации обоснована техническая возможность использования разных вариантов выполнения БПЛА, но не выполнена оценка удельных энергетических показателей по сравнению с традиционными способами выполнения сельскохозяйственных работ, которые автор предлагает выполнять с помощью БПЛА.**

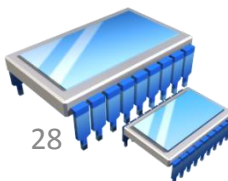
Ответ: в связи с тем, что главным преимуществом БПЛА является использование экологически чистых источников электрической энергии (аккумуляторы, водород), а традиционные способы выполнения сельскохозяйственных работ задействуют менее экологически чистые способы получения энергии, то в данной работе нет смысла проводить подобное сравнение. И в качестве критерия сравнения экологически чистых источников электрической энергии было выбрана не энергетическая плотность, а продолжительность работы устройства. Например, БПЛА на водороде работает в 3-5 раз дольше, чем на аккумуляторах.



**Замечание 4. Автором не выполнена экономическая оценка эффективности применения БПЛА для агропромышленного комплекса.**

**Замечание 5. Не ясен экономический эффект при внедрении БПЛА на предприятия сельского хозяйства.**

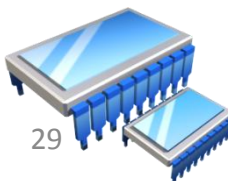
Ответ: научный доклад отражает сущность кандидатской диссертации в области технических наук, поэтому в задачи диссертации не входила оценка экономической эффективности, но входила оценка технических возможностей предлагаемого БПЛА. Но можно сказать, что подобный БПЛА в Китае от компании t-motor, без поворотного механизма, но с такой же грузоподъемностью и продолжительностью полета стоит около 500 000 рублей.



**Замечание 6. При оформлении диссертации автором допущены отступления от требований нормативных документов.**

**Замечание 7. Работа имеет оформительские погрешности**

Ответ: данная диссертационная работа выполнялась в соответствии с требованиями индивидуального учебного плана аспиранта, положения о совете по защите диссертаций, положения о присуждении ученых степеней и ГОСТ Р 7.0.11.-2011. Допускаю, что в работе могли быть допущены случайные неточности и опечатки в оформлении, но к сожалению в замечаниях не указано конкретно какие отступления и от каких требований были сделаны, поэтому здесь больше ничего нельзя сказать.



**Замечание 8. В работе практически отсутствуют результаты по практическому применению разработанного БПЛА в агропромышленном комплексе.**

Ответ: в работе задействован научный метод моделирования для оценки технических возможностей практического применения БПЛА в растениеводстве, а также, для нужд сельского хозяйства: возможность перемещения электрического кабеля или шланга по воздуху. Математическая модель БПЛА основана на технических характеристиках реального оборудования и материалов использованных в БПЛА (моторы, аккумулятор, пропеллеры, корпус и т.п.), что позволяет заменить объект исследования другим объектом, находящимся в отношении подобия к первому при помощи математической модели.

