

УДК 681.5

***РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ
ПОЛЁТОМ БПЛА ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПОЛЕЙ***

Шереужев М.А.

старший преподаватель,

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Березан Д.Г.

студент,

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Митр Д.В.

студент,

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Сербиев Р.А.

студент,

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Аннотация

В данной работе рассмотрены вопросы реализации системы управления автономным беспилотным летательным аппаратом коптерного типа для мультиспектральной аэрофотосъёмки сельскохозяйственных полей. Рассчитаны параметры построения маршрута для оптимального облёта полей при

аэрофотосъёмке. Разработана математическая модель монтируемого на БПЛА двухосевого подвеса мультиспектральной камеры. Проведено моделирование работы системы управления двухосевого подвеса с помощью инструмента “Simscare” пакета MATLAB. Разработанная модель учитывает масса-инерционные параметры и силу ветра.

Ключевые слова: мультиспектральная камера, БПЛА, аэрофотосъёмка, мониторинг сельскохозяйственных полей, автономный полёт, двухосевой подвес.

***DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF AN AUTONOMOUS UAV FLIGHT
CONTROL SYSTEM FOR MONITORING AGRICULTURAL FIELDS***

Shereuzhev M.A.

senior lecturer,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Berezan D.G.

student,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Mitr D.V.

student,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Serbiev R.A.

student,

*Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia*

Abstract

The paper, the issues of implementing a control system for an autonomous unmanned aerial vehicle of the copter type for multispectral aerial photography of agricultural fields are considered. The parameters of the route construction for optimal overflight of the fields during aerial photography are calculated. A mathematical model of a two-axis suspension of a multispectral camera mounted on a UAV has been developed. A simulation of the operation of the two-axis suspension control system using the “Simscape” tool of the MATLAB package was carried out. The developed model takes into account mass-inertial parameters and wind force.

Key words: multispectral camera, UAV, aerial photography, monitoring of agricultural fields, autonomous flight, two-axis suspension.

Сельское хозяйство является передовой отраслью, где активно производится внедрение автономных систем мониторинга [1]. Большое внимание уделяется мониторингу полей, в частности сбору мультиспектральных снимков с целью контролирования посевов и прогнозирования урожая. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) предоставляет производителям сельскохозяйственной продукции на полях возможность отслеживать посевы с необходимой регулярностью, низким уровнем риска, и с применением сенсоров различной физической природы [2].

Перспективным является создание автономного БПЛА с универсальным подвесом для крепления мультиспектральной камеры для идентификации растений и их состояния (рис.1). На полученных изображениях возможно отображать проблемные посевные площади и области, нуждающиеся в уходе. По мультиспектральным снимкам возможно оценить общее состояние здоровья

сельскохозяйственных культур, в том числе выделить засыхающие и нежизнеспособные посевы. Дополнительно существует возможность проводить визуальные анализы грибков и бактерий на посевах.



Рис.1 – БПЛА коптерного типа с мультиспектральной камерой [3]

В результате автономные БПЛА с мультиспектральной камерой в сельском хозяйстве позволят предотвратить дорогостоящие потери и обеспечить общий рост и успех своих культур, что является огромным плюсом данной технологии [4]. Ещё большего эффекта можно добиться, используя группы БПЛА коптерного типа. При этом потребуется разработать алгоритм предотвращения столкновения для роя БПЛА [5].

Для того, чтобы получить качественную картографическую информацию, необходимо провести съемку территории с перекрытием, т.е. снимать участок земли так часто, чтобы последующий снимок как-бы «перекрывал» предыдущий, по аналогии с кровлей крыши, где каждая плитка накрывает часть предыдущей [6].

Величина продольного перекрытия между соседними аэрофотоснимками одного маршрута как правило в пределах 55-70 %, а поперечное — не менее 20%. Скорость полёта БПЛА до 15 м/с. Для получения необходимо разрешения

снимков, съемку с БПЛА необходимо вести на строго определенной высоте полета (1):

$$H_{\text{пол}} = GSD \times l_x, \quad (1)$$

где $H_{\text{пол}}$ – высота полета, м; GSD – разрешение пикселя, м/пкс; l_x – размер цифрового снимка по оси абсцисс, пкс.

$H_{\text{пол}}$ и GSD подбираются оператором, исходя из требуемых условий. Оптимальными являются 100-150 м и 6-7 см/пкс. l_x , а также l_y находятся в документации мультиспектральной камеры.

Принимая во внимание вышесказанное, была сформирована таблица исходных данных (таблица 1).

Таблица 1 – исходные данные для расчёта параметров аэрофотосъёмки

Показатель	Обозначение
Размеры участка по осям абсцисс и ординат соответственно, м	D_x и D_y
Размер пикселя на местности, см/пкс	GSD
Размеры сторон снимка по осям абсцисс и ординат соответственно, м	l_x и l_y
Продольное и поперечное перекрытие снимков в маршруте соответственно, %	P_x и P_y
Скорость БПЛА при аэрофотосъёмке, м/с	V

После сформированных исходных данных определим параметры аэрофотосъёмки (1-7):

$$B = \frac{l_x \times (100 - P_x)}{100} \times GSD, \quad (2)$$

где B – расстояние между соседними снимками по продольному маршруту, м

$$L_y = \frac{l_y \times (100 - P_y)}{100} \times GSD, \quad (3)$$

где L_y – расстояние между соседними снимками по поперечному маршруту, м

$$N_{CH} = \frac{D_x}{B} + 3, \quad (4)$$

где N_{CH} – количество снимков в одном маршруте, шт

$$N_M = \frac{D_y}{L_y} + 1, \quad (5)$$

где N_M – количество маршрутов, шт

$$t = \frac{N_M \times (D_x + 3B)}{V}, \quad (6)$$

где t – минимальное полетное время съемки, с

$$T_{3K} = \frac{B}{V}, \quad (7)$$

где T_{3K} – частота затвора камеры, с

Ориентацию устройств аэрофотосъемки по нескольким осям обеспечивают привода поворота камеры. Одними из самых распространённых приводов такого типа являются подвесы (опорно-поворотные устройства) для камер квадрокоптеров [7; 8]. Изначально они создавались для повышения качества видеосъемки с квадрокоптера, т.к. колебания дрона при полете ухудшали качество видео. Также подвесы позволяют осуществлять поворот камеры относительно квадрокоптера на произвольные углы. Это также позволит нам управлять камерой в ручном режиме при осмотре определённого участка поля. Правильно подобранный подвес будет стабилизировать движение камеры, и даже если дрон попадет в воздушную яму, на получившемся видео этого совсем не будет заметно. Поскольку дроны используются для самых разных целей, требующих решительных действий, использование хорошего подвеса стало обязательным.

Существует несколько различных типов подвесов для БПЛА коптерного типа. Для мультиспектральной аэрофотосъемки был выбран двухосевой подвес на базе бесколлекторных двигателей. Он способен хорошо удерживать камеру на месте без каких-либо трудностей, легкий, не потребляет много энергии и

может работать более длительное время. Из-за своей облегченной структуры, дрон сохраняет свою подвижность. Также он будет обладать быстрым временем реакции, что, в свою очередь, приводит к более плавному движению при ручном режиме.

Таким образом была разработана математическая модель привода подвеса БПЛА с параллельным корректирующим устройством и получена структурная схема привода (рис. 2) [9; 10; 11].

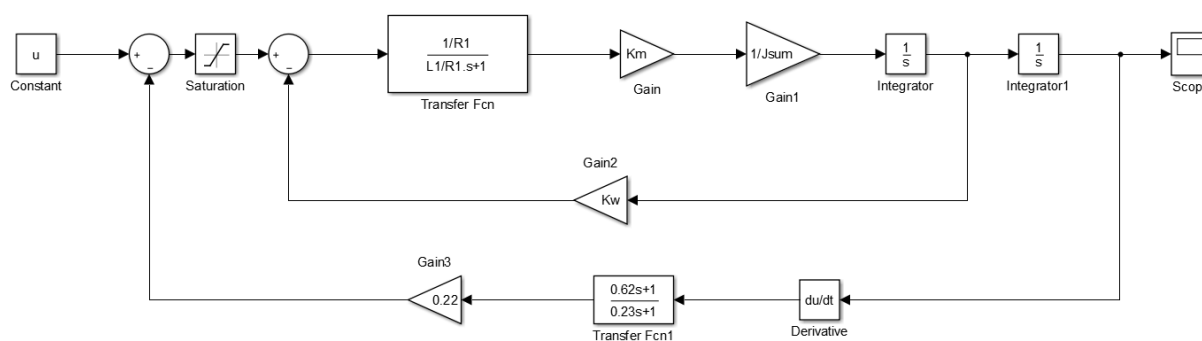


Рис.2 – Структура привода с параллельным корректирующим устройством
[авторская разработка]

Полученная система быстро и точно поворачивала мультиспектральную камеру на малые углы в ручном режиме и удовлетворяла требованиям (таблица 2).

Таблица 2 – требования к системе

Перерегулирование	$\leq 5\%$
Время переходного процесса	≤ 1 с
Установившаяся ошибка	$\leq 1^\circ$
Запас устойчивости системы по фазе	$\geq 30^\circ$
Запас устойчивости системы по амплитуде	≥ 10 дБ
Величина рабочего хода	$\pm 70^\circ$
Быстродействие	2.5 рад/с и 5 рад/с ²

С целью проверки работы приводом совместно в одном механизме, было проведено моделирование в пакете «Simscapе Matlab Simulink» кинематической схемы двухосевого подвеса (рис.3) [11].

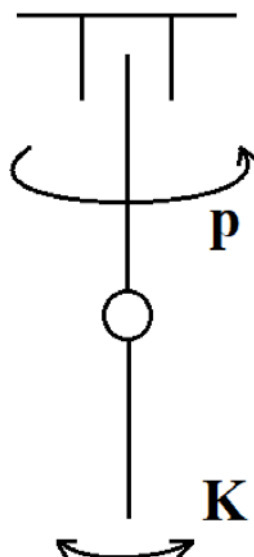


Рис.3 – Кинематическая схема двухосевого подвеса [авторская разработка]

На рисунке 4 представлена структурная схема подвеса с учётом узлов «p» и «K». В качестве входного воздействия – максимальный угол 70° . Также была приложена сила, соответствующая скорости ветра 10 м/с. Этого достаточно, так как использование дрона предполагается с силой ветра до 10м/с. А средняя скорость ветра в одних из самых благоприятных мест для выращивания культур летом на уровне 100-150 м около 5-6 м/с (например, Краснодарский край) [12].

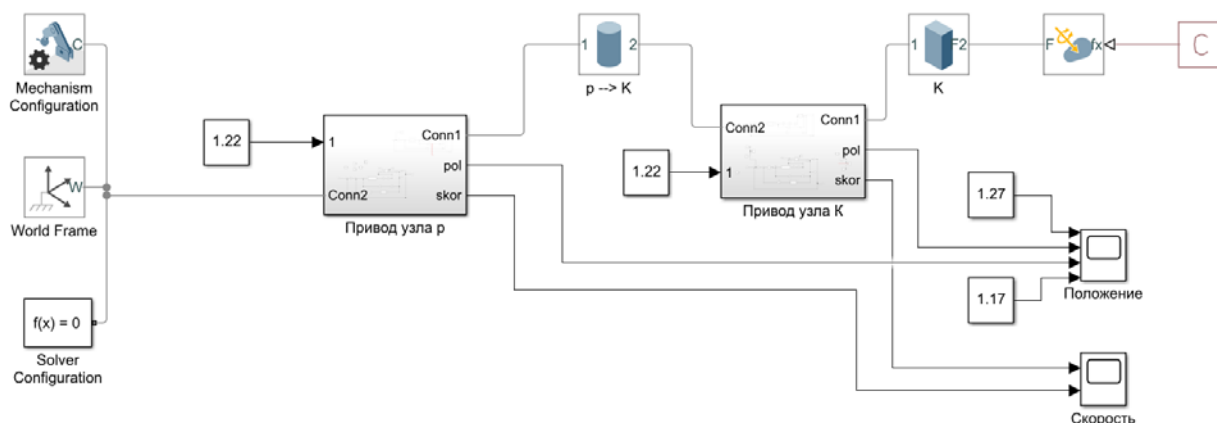


Рис.4 – Структурная схема подвеса с учётом всех узлов [авторская разработка]

Структурные схемы блоков привода узла «p» и привода узла «K» идентичные (рис. 5).

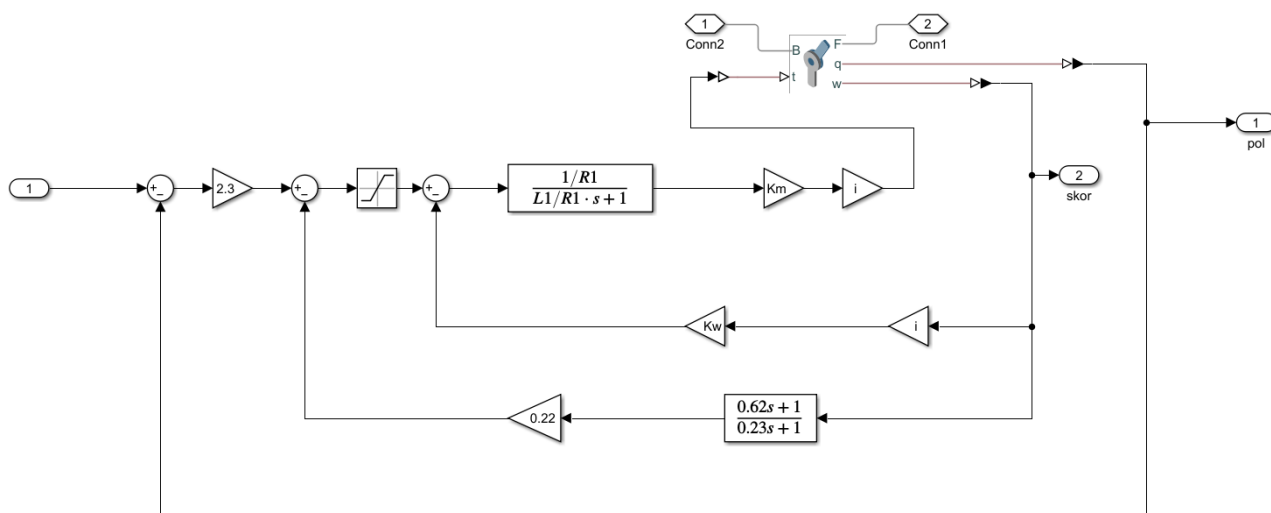


Рис.5 – Структурная схема блоков привода узла «р» и привода узла «К»
[авторская разработка]

В ходе эксперимента наблюдалось низкое взаимовлияние между приводами, проявлявшееся при подаче максимального угла поворота на два привода одновременно, время переходного процесса 0.8с (рис.6).

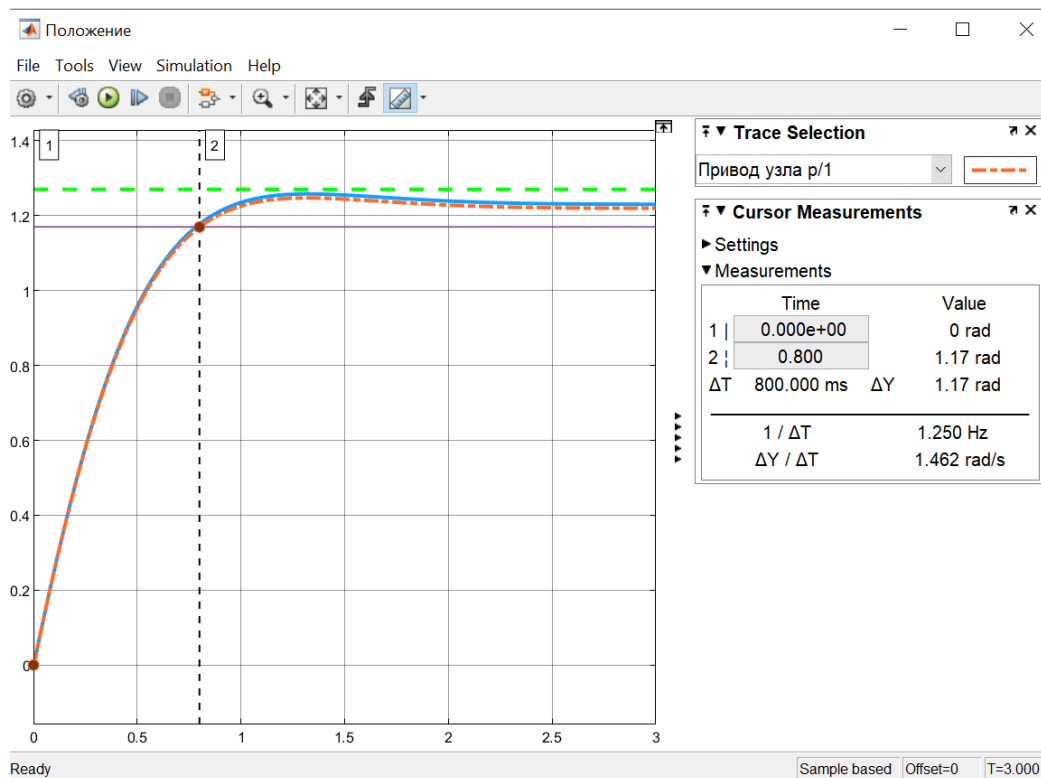


Рис.6 – Переходной процесс по положению (штрихпунктирная линия – узел «р», сплошная линия – узел «К», горизонтальной линии – границы допустимого перерегулирования)
[авторская разработка]

Экспериментальные исследования показали, что при реализации элементов коррекции в системе управления для компенсации взаимовлияния узлов, разработанная модель системы управления приводом удовлетворяет всем техническим требованиям. Дальнейшие исследования требуют проведения экспериментов на реальном стенде и тестовых полётов.

Библиографический список:

1. Серебранный, В. В., Метасов, И. Е., Шереужев, М. А. Структура и алгоритмы функционирования систем управления мобильных роботов сельскохозяйственного назначения [Текст] / В. В. Серебранный, И. Е. Метасов, М. А. Шереужев // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2017. — № 6 (80). — С. 210-220.
2. Бочаров, К. О. Применение дронов в сельском хозяйстве [Текст] / К. О. Бочаров // Наука без границ. — 2021. — № 6 (58). — С. 88-94.
3. WASTE WATER, COMPOSTING, LANDFILL / [Электронный ресурс] // HARDSHELL LABS: [сайт]. — URL: <https://hardshelllabs.com/overview/waste-management-agricultural-and-other-commercial> (дата обращения: 15.03.2022).
4. Коротаев, А. А., Новопащин, Л. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевных площадей в аграрном секторе [Текст] / А. А. Коротаев, Л. А. Новопащин // Аграрный вестник Урала. — 2015. — № 12 (142). — С. 38-42.
5. Elmkaiel G., Serebrenny V.V. Collision avoidance algorithm for a quadcopters swarm / Elmkaiel G., Serebrenny V.V. [Текст] // AIP Conference Proceedings. — Moscow: American Institute of Physics Inc., 2019. — С. 190006.
6. Мягков А. Особенности промышленной аэрофотосъемки / Мягков А. [Электронный ресурс] // Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/post/347344/> (дата обращения: 17.03.2022).
7. Китай Обзор ТВ Что такое подвес для камеры дрона и как они работают? / Китай Обзор ТВ [Электронный ресурс] // hi-tech-obzor : [сайт]. — URL: <https://hi->

tech-obzor.ru/chto-takoe-podves-dlya-kamery-drona-i-kak-oni-rabotayut/ (дата обращения: 09.06.2022).

8. Ольга Асташина Как устроены подвесы со стабилизацией на квадрокоптерах DJI? / Ольга Асташина [Электронный ресурс] // dji-blog: [сайт]. — URL: <https://dji-blog.ru/novichkam/kak-ustroeny-podvesy-so-stabilizaciej-na-kvadrokopterah-dji.html> (дата обращения: 17.03.2023).

9. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления [Текст] / Бесекерский В. А., Попов Е. П. — 4. — СПб: Профессия, 2004 — 747 с.

10. Бабаков Н. А., Воронов А. А., Воронова А. А. [и др.] Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Бабаков Н. А., Воронов А. А., Воронова А. А. [и др.] — 2. — Москва: Высш. шк., 1986 — 367 с.

11. Дьяконов В. П. МАТЛАВ. Полный самоучитель [Текст] / Дьяконов В. П. — Москва: ДМК Пресс, 2012 — 768 с.

12. Ветер / [Электронный ресурс] // sevraplan.com: [сайт]. — URL: <https://www.sevparaplan.com/meteorology/veter> (дата обращения: 02.05.2022).

Оригинальность 81%