**Форма 550. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТАМ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО АКТУАЛЬНЫМ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫМ ТЕМАМ («офи\_м»)**

**50.4. Объявленные ранее цели и основные задачи проекта на 2017 г.**

Цель проекта – расширить и систематизировать знания о групповом взаимодействии роботов при решении ими общей задачи, используя как теоретический, так и практический подходы.

Основные задачи проекта на 2017 г.

1. Разработка на базе платформы Pixhawk алгоритмической системы принятия решений, входными данными для которой служат результаты обработки изображений. Система должна позволить решать задачи облета препятствий и патрулирования пространства.   
2. Разработка математической модели полета квадрокоптера с учетом как характеристик самого устройства, так и параметров внешней среды (ветер, препятствия)

**50.5. Степень выполнения поставленных в проекте задач**

2.1. Предложен и реализован метод фильтрации измерений объекта, который позволяет вовремя детектировать резкие маневры. Исследованный метод фильтрации применен для задачи слежения за беспилотным летательным аппаратом (БпЛА) мультироторного типа.

2.2. Создана трехмерная модель полета квадрокоптера. С ее помощью проведены оценки маневренности квадрокоптера, были выявлены основные преимущества и недостатки траекторий БПЛА различной степени гладкости. Для каждой из них оценены координатные ошибки следования кривой в условиях изменяющейся среды: учтено наличие воздушного сопротивления движению квадрокоптера. Наложены ограничения по времени полета из начальной точки в конечную. Полученные результаты сравнительного анализа пространственных кривых позволили описать и реализовать метод автоматического выбора траектории исходя из взаимного расположения контрольных точек.

**50.6. Полученные за отчетный период важнейшие научные результаты с указанием их междисциплинарности и значимости для развития междисциплинарных направлений**

В качестве входных данных в задаче слежения использовались измерения траектории движущегося объекта, траектория которого содержит резкие повороты, т.е. изменения направления движения описываются в эти моменты острыми углами. Данные измерений сильно зашумлены, стандартные методы фильтрации (фильтр Калмана) давали значительную ошибку в момент разворота. Предложенный алгоритм слежения представляет собой модификацию фильтра Калмана. Работа данного метода рассмотрена на примере траектории БпЛА мультироторного типа, проведен его сравнительный анализ с немодифицированным фильтром Калмана, по результатам которого, предложенный алгоритм показал большую точность. Модифицированный алгоритм применен также для фильтрации траектории реального БпЛА.

Созданный программный комплекс позволяет исследовать ЛТХ БпЛА, предварительно задавая желаемые параметры летательных аппаратов. Пользователю предоставляется возможность варьировать свойства окружающей среды, такие как скорость и направление ветра, определять эти величины как функции времени. Для изучения поведения системы при выполнении различных маневров реализован набор траекторий, рассчитанных заранее. Кроме того, возможно исследование полетов вдоль траекторий, определенных контрольными точками. Желаемые пункты траектории могут быть определены заранее и соединены кривыми оптимальной степени гладкости. Пользователю предоставляется такая информации о полете, как длина траектории, время полета, число успешно пройденных контрольных точек, энергетические затраты и величина отклонения от желаемой траектории. Средняя скорость и максимальное время движения летательного аппарата могут быть выбраны заранее.

**50.7. Степень новизны полученных результатов** *(с обязательным анализом состояния исследований по данному направлению в России за последний год, сравнение результатов, полученных в ходе выполнения проекта, с результатами российских коллег - привести ссылки на их работы)*

В задачах слежениях в настоящее время используются и разрабатываются новые алгоритмы на основе фильтрации полученных измерений исследуемого объекта. В статье [1]  предложен метод  адаптивной настройки фильтра Калмана для отслеживания динамического объекта с неизвестным ускорением. Работа [2] посвящена трекингу группы объектов на основе видеонаблюдения. При использовании совместоно алгоритмов компьютерного зрения и анализа траекторий рассмотрена задача обнаружения и слежения за объектом с борта ЛА [3].

Работы [4-5] посвящены построению математических моделей полета квадрокоптера. В статье [4] предложен метод, позволяющий перемещать аппарат в заданную в пространстве точку и поворачиваться на заданный угол вокруг вертикальной оси при минимальных дополнительных допущениях. Алгоритм достаточно прост для реализации и вычислений в реальном времени на оборудовании, находящемся на борту квадрокоптера. В работе [5] рассмотрен принцип построения системы управления мультикоптера, состоящего из двух подсистем: системы управления движением центра масс и системы угловой стабилизации. Система управления реализуется на базе микроконтроллера, задача которого состоит в том, чтобы обеспечивать движение аппарата по заданному маршруту и управлять стабилизацией аппарата в воздухе в горизонтальном или в заданном угловом положении путем подачи управляющих сигналов двигателям.

# Елисеев А.В., Овсянников С.Н., Музыченко Н.Ю., Настройка параметров фильтра Калмана в условиях нечеткого логического вывода, Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом/Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Новосибирск, 2015.

1. Соловей О.П., Иванов Н.Н., Алгоритм трекинга объектов в реальном времени с обработкой ошибок, БГУИР, 2013
2. Гурьева М.Н., Обнаружение и слежение за объектом но основе совместного использования алгоритмов Виолы-Джонса и анализа траекторий, The 23rd International Conference on Computer Graphics and Vision, 2013
3. *Гурьянов А.Е.* Моделирование управления квадрокоптером, август 2014, МГТУ им. Баумана.
4. *Ситников Д. В., Бурьян Ю. А., Русских Г. С.* Система управления движением мультикоптера Омский государственный технический университет, 2012.

**50.8. Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем** *(с обязательным анализом состояния исследований по данному направлению за рубежом за последний год, сравнение результатов, полученных в ходе выполнения проекта, с результатами зарубежных коллег – привести ссылки на их работы)*

Фильтр Калмана широко используется в инженерных задачах: от радаров и систем слежения за объектом [1-4] до предсказания погоды [5], [6] и обучения нейронных сетей [7], [8]. Однако, для удовлетворения требований точности и своевременности детектирования движущегося объекта стандартный метод фильтрации измерений с помощью фильтра Калмана требует доработок. О специфике применения фильтра Калмана для задач слежения за движущимся объектом изложено в работе [9]. Алгоритм динамического слежения (в условиях реального времени) за объектом, движущимся с постоянной скоростью, описан в статье [10].

Работы [11-13] посвящены задачам управления квадрокоптером. В статье [11] описаны результаты алгоритма, позволяющего малым БПЛА совершать резкие маневры. Основной задачей работ [12-13] является стабилизация полета квадрокоптера при наличии внешних возмущений (порывов ветра).

1. Z. Li and H. Wu, ‘‘A survey of maneuvering target tracking using Kalman filter,’’ in Proc. 4th Int. Conf. Mechatronics, Mater., Chem. Comput. Eng. (ICMMCCE), vol. 39. 2015, pp. 542– 545.

2. M. Boutayeb and D. Aubry, ‘‘A strong tracking extended Kalman observer for nonlinear discrete-time systems,’’ IEEE Trans. Autom. Control, vol. 44, no. 8, pp. 1550–1556, Aug. 1999.

3. X. Yun and E. R. Bachmann, ‘‘Design, implementation, and experimental results of a quaternion-based Kalman filter for human body motion tracking,’’ IEEE Trans. Robot., vol. 22, no. 6, pp. 1216–1227, Dec. 2006.

4. Y. T. Chan, A. G. C. Hu, and J. B. Plant, ‘‘Kalman filter based tracking scheme with input estimation,’’ IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-15, no. 2, pp. 237–244, Feb. 1979.

5. C. Snyder and F. Q. Zhang, ‘‘Assimilation of simulated Doppler radar observations with an ensemble Kalman filter,’’ Monthly Weather Rev., vol. 131, no. 8, pp. 1663–1677, Aug. 2003.

6. F. E. Daum and R. J. Fitzgerald, ‘‘Decoupled Kalman filters for phasedarray radar tracking,’’ IEEE Trans. Autom. Control, vol. AC-28, no. 3, pp. 269–283, Sep. 1983.

7. R. S. Scalero and N. Tepedelenlioglu, ‘‘A fast new algorithm for training feedforward neural networks,’’ IEEE Trans. Signal Process., vol. 40, no. 1, pp. 202–210, Jan. 1992.

8. Y. Iiguni, H. Sakai, and H. Tokumaru, ‘‘A real-time learning algorithm for a multilayered neural network based on the extended Kalman filter,’’ IEEE Trans. Signal Process., vol. 40, no. 4, pp. 959–966, Apr. 1992.

9. P. Agarwal, D. Federman, K. Ge, T. Jan, C. Jones, Y. Lou, J. Ma, S. Modi, K. Shi, V. Tan, "Target tracking: Implementing the Kalman filter".

10. Gabriel F. Basso, Thulio Guilherme Silva De Amorim, Alisson V. Brito, , And Tiago P. Nascimento, “Kalman Filter With Dynamical Setting of Optimal Process Noise Covariance”, IEEE Access, Volume: 5, pp. 8385-8393, 2017

11. *Mellinger D., Michael N., and Kumar V.* Trajectory Generation and Control for Precise Aggressive Maneuvers with Quadrotors // Int. Symposium on Experimental Robotics, December 2010.

12. *J. Escareño·S. Salazar·H. Romero·R. Lozano* Trajectory Control of a Quadrotor Subject to 2D Wind Disturbances

13. *Julian Cayero , Josep Cugueró and Bernardo Morcego* Impedance control of a planar quadrotor with an extended Kalman filter external forces estimator.

**50.9. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта** *(описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны, при необходимости – сравнить с работами зарубежных и российских коллег)*

Cтандартный метод фильтрации на основе немодифицированного фильтра Калмана приводит к значительной ошибке детектирования смены направления движения. Поэтому возникает задача оптимизации метода фильтрации для увеличения точности фиксирования резких маневров объекта. Для успешной фильтрации измерений величина ошибкине должна превышать ошибки измерений Как только величина ошибки отклонения превышает пороговое значение, выбор которого определяется погрешностью измерений, фиксируется момент резкого поворота объекта наблюдения. В таком случае фильтр Калмана реинициализируется набором начальных параметров. Таким образом, модифицированный фильтр Калмана после выполнения смены направления движения генерирует новые значения, опираясь в большей степени на последующие измерения, нежели предыдущие результаты фильтрации.

На основе сравнительного анализа возможных траекторий летательного аппарата, предложен способ оценки маневренности БПЛА мультироторного типа, для получения результатов проведено моделирование. Представлены результаты облета вдоль заранее рассчитанных траекторий (прямой и спирали), а также вдоль гладких кривых, задаваемых сериями контрольных точек. Исходя из полученных результатов, реализован метод автоматического выбора степени гладкости траектории на основе последовательности контрольных точек.

**50.10.1. Количество научных работ по Проекту, опубликованных в 2017 году** *(цифрами)*

5

**50.10.1.1. Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК**

1

**50.10.1.2. Из них в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ**

5

**50.10.1.3. Из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования** *(библиографические и реферативные базы научных публикаций)*

0

**50.10.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2017 году** *(цифрами)*

6

**50.10.3. Полученные в ходе выполнения проекта результаты-объекты интеллектуальной собственности** *(номера патентных заявок и т.п.)*

**50.11. Участие в 2016 году в научных мероприятиях по тематике Проекта** *(каждое мероприятие с новой строки, указать названия мероприятий и тип доклада)*

1.IV Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Минцевские чтения», секционный доклад.

2. V Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Минцевские чтения», секционный доклад.

3. Секционный доклад на V Всероссийской научно-технической  конференции «РТИ системы ВКО-2017», г. Москва.

**50.14 Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту, например,** [**http://www.somewhere.ru/mypub.html**](http://www.somewhere.ru/mypub.html)

**50.15. Библиографический список всех публикаций по проекту, опубликованных в 2016 году, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях** *(тезисы докладов и материалы съездов, конференций не включать)*

1. Калинов И.А., Агишев Р.Т., Метод эффективного детектирования резких маневров объекта в условиях зашумленных измерений
2. А.А. Кочкаров, Р.Т. Агишев «Согласованное взаимодействие групп малых многороторных БПЛА для транспортировки грузов» // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017 г. № 2(187). Стр. 198-209
3. Кочкаров А.А., Агишев Р.Т. «Моделирование движения квадрокоптера по траектории с минимальной ошибкой отклонения» // Журнал «Новые информационные технологии в автоматизированных системах». Издательство: Московский институт электроники НИУ ВШЭ (Москва). 2017 г. № 20. Стр. 186-191.
4. Кочкаров А.А., Агишев Р.Т. «Сравнительный анализ полетов квадрокоптера вдоль траекторий различной степени гладкости» // Современная наука. 2016. № 3. С. 17-22.
5. Яцкин Д.В., Калинов И.А., Агишев Р.Т., «Применение компьютерного моделирования для определения летно-технических характеристик БПЛА мультироторного типа» // Сборник конференции «РТИ системы ВКО-2017».
6. Агишев Р.Т., Калинов И.А., Кочкаров А.А., Кочкаров Р.А., Ступин Д.Д., Яцкин Д.В. Моделирование поведения групп автономных БПЛА при решении задачи мониторинга в условиях непрерывно изменяющейся внешней среды / Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2017). Ростов-на Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. Т. 2. С. 189-192.