

**Отзыв на докторскую диссертацию Калекеевой Марины  
Есенгелдіқызы на тему: «Разработка и исследование беспилотного  
летательного манипулятора с искусственным зрением»,  
представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по  
специальности 6D071400 – Авиационная техника и технологии**

В этой диссертации рассматриваются автономные летающие роботы и соответствующие методы управления им. В не вакуумной среде, т.е. в земной атмосфере это в основном осуществляется за счет разницы атмосферного давления. Однако такие конструкции требуют высоких крейсерских скоростей робота для стабильного полета, что обычно ограничивает робота для выполнения задач, требующих состояния зависания, например, в случае воздушных манипуляций.

В этой диссертации, помимо физического взаимодействия, рассматривается управление воздушными манипуляциями. Для этого необходимо сосредоточиться в основном на отслеживании движения воздушных манипуляторов. Разработана математическая модель мультикоптера с  $n$ -звенной манипулятором через формулы Лагранжа. Математическая модель была применена к экспериментальному гексакоптеру, оснащенный манипулятором с тремя степенями свободы. Часть результатов, приведенных в обзоре данной диссертации, была использована в диссертационном исследовании, а дополнительные эксперименты были выполнены для определения других параметров аэроманипулятора. В воздушном манипуляторе динамика манипулятора и мультикоптера рассматривается в паре. По этой причине был разработан улучшенный контроллер воздушного манипулятора, который предлагает лучшую производительность. Контроллер свободного полета был реализован на основе метода глобальной линеаризации. Закон управления учитывает динамику манипулятора для управления положением мультикоптера. Эффект веса робота-манипулятора, скоростей и ускорений на корпусе мультикоптера компенсируется контроллером. Был разработан основанный на равновесии регулятор силы/крутящего момента. Контроллер регулирует силы и моменты, которые воздушный манипулятор прикладывает к объекту, закрепленному на стене. Контроллер силы/крутящего момента, основанный на равновесии, вычисляет положение мультикоптера и входы роторов, чтобы вызвать желаемую силу и крутящий момент на стене. С мультикоптером обратная связь с инерционными датчиками, манипулятор работает совместно с роторами для управления мультикоптера.

Моделирование было выполнено для оценки контроллера свободного полета. При моделировании контроллера свободного полета воздушного манипулятора сравнивался с контроллером мультикоптера без компенсации роботизированной руки. Таким образом, удалось повысить производительность контроллера манипулятора, так как была учтена связь динамики манипулятора и мультикоптера в законе управления.

Моделирование было выполнено для изучения основанной на равновесии силы/крутящего момента. Было изучено регулирование каждой составляющей шестимерного вектора силы/крутящего момента. Было проведено моделирование контроллера силы/крутящего в шести симуляционных случаях. Моделирование также подтвердило эффективность работы контроллера для задачи манипулирования.

Проведены эксперименты по анализу контроллера свободного полета аэроманипулятора. Контроллер ориентации эффективно компенсирует действие сил гравитации на корпусе мультикоптера для каждого положения манипулятора. Было замечено, что, когда звенья манипулятора приближаются к лопастям гексакоптера, создается тяга, создаваемая лопастями. Член интегратора в контроллере ориентации эффективно компенсирует этот аэродинамический эффект.

В этом диссертационном исследовании также был проанализирован пристеночный эффект для мультикоптера. Когда экспериментальный гексакоптер зависает у стены, на корпус наводится крутящий момент. Были выполнены эксперименты для измерения пристеночного крутящего момента для различных расстояний, разделяющих мультикоптер и стену. Таким образом, была предложена модификация на регулятор ориентации, где предлагается включить в закон управления пристеночный компенсатор.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа Қалекеевой Марины Есенгелдіқызы на тему «Разработка и исследование беспилотного летательного манипулятора с искусственным зрением» в полной мере соответствует всем требованиям, предъявляемые к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD) и ее автор Қалекеева М. заслуживает ходатайства перед Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК для присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071400 – «Авиационная техника и технологии».

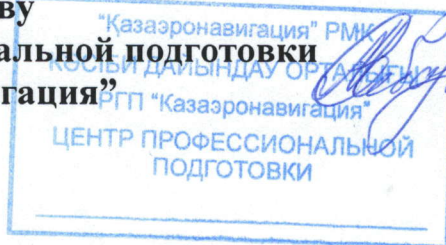
**Рецензент**

**кандидат технических наук,**

**менеджер по качеству**

**Центра профессиональной подготовки**

**РГП «Казаэронавигация»**



**А.С. Шокенова**

**Подпись Шокенова А.С. заверяю:**

*Асия Тлоқбаева А.К.*