

УДК 629.7

МИНИАТЮРНЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ СОЗДАНИЯ

Воронков Ю.С., Воронков О.Ю.

Координационный совет ОНТТЭ «Ювенал», Таганрог, e-mail: oleg.voronkov.1985@gmail.com

Как известно, проведенные в США исследования «Тактика и технология войны XXI века» определили важность обладания информацией для войсковых соединений, в том числе малых тактических единиц уровня взвода. В отличие от средств разведки типа спутников и высотных БЛА, обладающих более высоким уровнем характеристик, поставщиками такой информации должны стать миниатюрные летательные аппараты, мини-БЛА и микро-БЛА.

Ключевые слова: мини-БЛА, микро-БЛА, синергетическая теория управления, многовинтовой беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки (МВБЛАВВП)

MINIATURE UNMANNED AIRCRAFT AND FEATURES OF THEM

Voronkov Y.S., Voronkov O.Y.

Coordinating COUNCIL ONTTE «Juvenal», Taganrog, e-mail: oleg.voronkov.1985@gmail.com

As is well known, the study conducted in the U.S. «war tactics and technology of the XXI Century» identified the importance of having information for military units, including small tactical units platoon level. In contrast to the type of reconnaissance satellites and high-altitude UAVs, have a higher level of performance, suppliers of such information should be a miniature aerial vehicles, mini-UAVs and micro-UAVs.

Keywords: mini-UAV, Micro UAV, the synergetic control theory, mnogovintovoy drone aircraft vertical takeoff and landing (MVBLAVVP)

Наличие таких средств, как микро-БЛА, у каждого солдата позволит всем участникам боя выполнять разведывательные действия, итогом которых становится беспрецедентное ситуационное понимание обстановки и резко возросшая боевая эффективность.

Высокий интерес, проявляемый к разработке подобных летательных аппаратов за рубежом, обусловлен двумя факторами: во-первых, изменением тактики ведения современного боя, особенно в городских условиях, во-вторых, появлением новых технологических возможностей создания таких аппаратов.

Технологическая база создания

Технологическая выполнимость мини-БЛА и микро-БЛА является результатом научно-технических достижений в микро-технологиях, таких как миниатюрные электромеханические системы (MEMS), суть которых состоит в объединении миниатюрных электронных компонентов с сопоставимыми по размерам механическими элементами различной сложности. Такое объединение позволяет достигнуть уникальных функциональных возможностей, например, объединить в единую конструкцию датчик, процессор и механический привод. Устройства MEMS производятся промышленным способом, и сегодня ведутся интенсивные работы, направленные на их удешевление.

Другим достижением в развитии микро-электронных систем является разработка

миниатюрных видеокамер, инфракрасных датчиков, датчиков биологического и химического анализа для обнаружения опасных концентраций различных веществ.

Потребность в системах автоматического управления

К числу наиважнейших проблем при создании таких летательных аппаратов относятся вопросы создания систем управления. Так, с уменьшением размеров управляемого летающего объекта площадь его поверхности уменьшается в квадрате, масса в кубе, необходимая мощность в степени 3,5, а моменты инерции в пятой степени от изменения линейного размера. Ручное управление такими аппаратами становится не всегда возможным, и все большую роль приобретает автоматизированное управление и новые аэродинамические компоновки аппарата.

К беспилотным летательным аппаратам такого типа предъявляются повышенные требования маневренности и управляемости, поскольку область их применения предполагает полет на режимах, близким к критическим, например, полет и маневрирование на сверхмалой высоте в условиях сложного рельефа местности. Для миниатюрных аппаратов диапазон предельных величин положительных и отрицательных перегрузок более широк, чем для пилотируемых аппаратов, что позволяет снять некоторые ограничения по маневренности.

Особенности классической теории управления

В настоящее время накоплен значительный опыт в области проектирования и серийного производства средств автоматики и систем управления летательными аппаратами, в том числе предназначенных для установки на аппараты рассматриваемой категории. К основным функциям таких систем следует отнести стабилизацию и поддержание заданных параметров полета, вывод аппарата в заданную точку пространства по желаемой траектории, автоматизацию процессов взлета и посадки и т.п. Однако эти системы обладают целым рядом скрытых и поэтому принципиально неустранимых недостатков, что проявляется в критических или «запретных» областях режимов работы и, как следствие, в «недоверии» к средствам автоматики при выполнении сложных и экстремальных действий (например, автоматической посадки). Эти качественно негативные свойства существующих систем управления связаны не с техническим или сервисным их исполнением, что выполняется на весьма высоком современном уровне. Все дело в ущербности той линейной идеологии классической теории управления, которая положена разработчиками в основу проектирования систем управления такими существенно нелинейными и многосвязными техническими объектами, какими являются летательные аппараты.

Методы и подходы классической теории управления основаны на анализе и синтезе регуляторов (автопилотов) на основе уравнений движения объекта (миниатюрного летательного аппарата), представленного в виде вход-выходных соотношений или передаточных функций. Это подразумевает использование только линейных (линеаризованных) моделей объектов. Применение нелинейных (исходных) моделей движения летательного аппарата затруднялось до недавнего времени отсутствием подходящих процедур синтеза регуляторов для нелинейных объектов. Трудоемкость применения методов была довольно значительной, так как они представляли собой громоздкие вычислительные процедуры, что затрудняло их использование для объектов высокого порядка. Таким образом, для синтеза управления нелинейная модель упрощалась путем применения процедур линеаризации, а также отбрасывания некоторых нелинейных членов уравнений ввиду их малости,

т.е., как считалось, ввиду их несущественного влияния. При этом часть динамических свойств объекта управления, которые мог бы учитывать синтезируемый регулятор, неизбежно теряется.

Следует отметить, что не для всех режимов полета «упущенные» нелинейности в математической модели (динамические свойства) оказывают существенное влияние. Например, при поддержании заданных параметров продольного движения процессы, протекающие в системе «БЛА – автопилот» в режиме малых отклонений, можно с физической точки зрения условно назвать линейными и согласиться с адекватностью линеаризованной модели.

Особенности синергетической теории управления

В сложных режимах полета, таких как взлет, посадка, полет на малой высоте, а также при автоматическом полете в соответствии с заданной программой актуально наличие автопилота, учитывающего как можно точнее динамические свойства объекта управления – миниатюрного БЛА.

Решением этой проблемы является синтез законов управления автопилота на основе полной нелинейной математической модели движения, наиболее точно отражающей динамику полета БЛА с физической точки зрения.

При решении задачи управления такой нелинейной динамической системой предполагается применить идеи синергетики – относительно новой интегральной науки, изучающей процессы самоорганизации и коллективного, когерентного поведения в нелинейных динамических системах различной природы, а также методы синергетической концепции управления, предложенной профессором ТК ЮФУ (г. Таганрог) А.А. Колесниковым и базирующейся на принципах целевой (направленной) самоорганизации.

При синергетическом управлении происходит переход от непредсказуемого поведения по алгоритму диссипативной структуры к направленному движению вдоль желаемых инвариантов – аттракторов (синергий), к которым подстраиваются все переменные системы, и на которых наилучшим образом согласуются естественные свойства управляемых процессов и требования задачи управления.

Суть синергетической концепции управления заключается в формировании в фазовом пространстве управляемых объектов

искусственных аттракторов, на которые неизбежно попадают все фазовые траектории замкнутой системы «объект – регулятор». Другими словами, за счет соответствующего управления изменяется топология фазового пространства управляемого объекта. За последние двадцать лет синергетическая теория управления получила широкое развитие и признание. В рамках этой теории разработаны принципиально новые методы синтеза автоматических регуляторов. Данные методы позволяют получить алгоритмы управления (непрерывного, дискретного, адаптивного, терминального, селективно-инвариантного и др.) для нелинейных, многомерных и многосвязных динамических систем различной природы.

Для синтеза системы управления миниатюрных БЛА предлагается использовать метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), основанный на принципах синергетической теории управления. В рамках этого метода возможна работа с полной нелинейной моделью движения БЛА. В отличие от традиционного подхода, предполагающего конструирование отдельного стабилизирующего управления для каждого канала (контура) регулирования, в этом подходе используется совместное (координированное) управление по всем переменным с целью перевода объекта в желаемое состояние. В этом случае связи между каналами управления осуществляются не косвенно, через объект управления, а непосредственно формируются в регуляторе. В этой связи при рассмотрении проблем синтеза стратегий управления электроприводами мини-БЛА и микро-БЛА предполагается использовать значительный опыт успешного применения синергетического подхода и метода АКАР к решению задач управления микроэлектромеханическими системами.

Истоки и описание проекта

Результаты исследований наших ученых показывают, что на основе использования современных достижений в области аэродинамики малых чисел Рейнольдса, многокритериальных высокоточных малогабаритных систем навигации и управления, принципов организации систем связи с высокой скоростью передачи данных, а также новых способов съема и передачи информации с борта потребителю и т.д. возможно создание малогабаритного переносного комплекса воздушного мониторинга для решения задач воздушного наблюдения, кар-

тографирования, поиска и охраны объектов, сформированного на основе мини-БЛА и микро-БЛА. Для правового регулирования применения таких аппаратов будет использована законодательная база, созданная для радиоуправляемых летающих моделей.

Примером такого технического решения является многовинтовой беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки (МВБЛАВВП) полетной массой до 5 кг, предназначенный для различных видов мониторинга. Аппарат разработан в Благотворительном обществе научно-технического творчества и экологии «Ювенал» города Таганрога, патент РФ №2403183 от 30 января 2009 года.

Аппарат МВБЛАВВП оснащен бортовой системой автоматизированного управления и наблюдения (БСАУН), которая построена в соответствии с приведенными выше положениями синергетической теории управления.

Конструктивно аппарат состоит из двух шарнирно соединенных модулей: подъемно-маршевого модуля, несущего четное количество силовых установок (4, 6, 8, 12 шт. и т.д.), и модуля оборудования, управления и целевой нагрузки. Внутри этого модуля, в соответствии с конструктивно-силовой схемой аппарата, размещен в горизонтальной экваториальной плоскости силовой шпангоут, в его центральной части по вертикали закреплена виброгасящая колонна, которая представляет собой трубчатую мелкоффрированную конструкцию из композита, например, из органита, со специальной ориентацией высокомодульных волокон в упругоотвержденном связующем.

В верхней части виброгасящей колонны установлен двухступенный виброгасящий шарнир, прикрепленный посредством кольца к виброгасящей колонне. Качание модуля обеспечивается вокруг осей, установленных в наборе виброгасящих композитных элементов. Виброгасящий шарнир содержит также кольцо, к которому посредством осей в наборе виброгасящих композитных элементов прикреплен оголовок подъемно-маршевого модуля. Такая конструкция двухступенного виброгасящего шарнира позволяет свободно отклонять подъемно-маршевый модуль в двух плоскостях, обеспечивая управление аппаратом по осям OX и OZ. Отклонение подъемно-маршевого модуля обеспечивается сервоприводами посредством тяг управления. Управление аппаратом вокруг оси OY обеспечивается отклонением рулевых поверхностей, находящихся в воздушном потоке от несущих винтов.

К оголовку подъемно-маршевого модуля прикреплены пилоны, по концам которых установлены силовые установки, которые могут быть снабжены несущими винтами одиночного или соосного типа.

В экваториальной части модуля оборудования, управления и целевой нагрузки равномерно по окружности закреплены в силовом шпангоуте взлетно-посадочные опоры, обеспечивающие поглощение энергии при посадке и амортизирующие грубые контакты аппарата с земной поверхностью.

Работа аппарата

Многовинтовой беспилотный летательный аппарат вертикального взлета и посадки (МВБЛАВВП) функционирует следующим образом.

При взлете аппарата вращаемые силовыми установками несущие воздушные винты отбрасывают воздушный поток вниз и обеспечивают тем самым его отрыв от поверхности земли. Создаваемые силовыми установками вибрации и несущими винтами аэродинамические шумы и колебания гасятся при этом в конструктивных элементах двухступенного виброгасящего шарнира. Часть непогашенных колебаний, передаваемых через виброгасящий шарнир, окончательно гасятся виброгасящей колонной, обеспечивая тем самым более комфортные условия для работы целевой нагрузки аппарата.

Воздействия внешних сил по показаниям соответствующих датчиков и в соответствии с заложенной программой анализируются в БСАУН и мгновенно передаются в виде координирующих сигналов на сервоприводы, что вызывает адекватные отклонения подъемно-маршевого модуля и обеспечивает, таким образом, исходное равенство сил и моментов, действующих на аппарат. Управление аппаратом по высоте обеспечивается изменением шага несущих винтов при соответствующем изменении мощности силовых установок по координирующим сигналам БСАУН. После взлета и набора высоты МВБЛАВВП может перейти в горизонтальный полет, создавая пропульсивную силу наклоном подъемно-маршевого модуля и соответственно наклоном плоскостей воздушных винтов в сторону направления полета. Аэродинамическая компоновка аппарата позволяет ему перемещаться в любом направлении с одинаковой скоростью.

На переходных режимах полета аппарата, например, из горизонтальной конфигурации в вертикальную, БСАУН отклоняет подъемно-маршевый модуль в сторону, противопо-

ложную направлению горизонтального полета, при этом плоскость вращения несущих винтов также отклоняется на положительный угол, и составляющая тяги несущей системы обеспечивает замедление горизонтального полета с сохранением параметров высоты полета. Аппарат зависает. Уменьшая шаг несущих винтов и изменяя режим работы силовых установок, БСАУН обеспечивает аппарату безопасную вертикальную скорость снижения вплоть до касания взлетно-посадочными опорами поверхности земли.

Переоборудование в полевых условиях

На земле при изменении полетного задания, например, с целью подъема большей целевой нагрузки в том же объеме, возможна замена подъемно-маршевого модуля с переходом от четырехвинтовой схемы на восьмивинтовую. Для этого стыковочное кольцо шарнира отсоединяется от колонны, разъединяются тяги управления, электроразъемы, и четырехвинтовой подъемно-маршевый модуль укладывается в специальную транспортировочную тару. Взамен четырехвинтового подъемно-маршевого модуля производится установка восьмивинтового модуля, у которого стыковочное кольцо такого же размера, что и у предыдущего модуля. Оно соединяется с посадочной поверхностью виброгасящей колонны и закрепляется фиксирующими элементами. Соединяются тяги управления и электроразъемы. Производятся необходимые проверки работоспособности оборудования, аппаратуры и целевой нагрузки. Аппарат готов к повторному вылету.

Таким образом, предложена конструкция многовинтового мини-БЛА, в котором используются новые принципы автоматического управления, а шарнирно закрепленный подъемно-маршевый модуль обеспечивает более защищенные условия для работы целевой нагрузки от вибраций, колебаний и шумов. Группирование силовых установок в отдельные легкозаменяемые модули позволяет расширить сферу применения аппарата с сокращением затрат на обслуживание в полевых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмитц Н.В. Аэродинамика малых скоростей / пер. с немецкого. – М.: ДОСААФ, 1963. – 59 с.
2. Патент РФ №2403183, 30.01.2009.
3. Мировая компьютерная сеть Интернет, информация 1995 – 2012 гг.
4. Воронков Ю.С. и др. Задачи обтекания тел. – РГУПС, Ростов-на-Дону, 2011. – 284 с.
5. Колесников А.А. Синергетическая теория управления / Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
6. Колесников А.А. Основы синергетики управляемых систем: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. – 123 с.