

О ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

А.В. Куковинец

ФАУ «ГосНИИАС»

Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7

E-mail: avkukovinec@2100.gosniias.ru

А.Ю. Чекин

ФАУ «ГосНИИАС»

Россия, 125319, Москва, ул. Викторенко, 7

E-mail: aychekin@2100.gosniias.ru

Ключевые слова: постановка задачи управления, воздушное судно, распределенная силовая установка, отклоняемый вектор тяги, отклоняемые органы управления, вертикальный взлет и посадка, переходный режим полета, отказобезопасность, городская аэромобильность.

Аннотация: Доклад содержит описание проблемы и постановку задачи на решение проблемы управления перспективными воздушными судами с распределенной силовой установкой, а именно с множеством движителей, распределенных по корпусу и аэродинамическим поверхностям воздушного судна, а также с приводами, обеспечивающими отклонение векторов тяги движителей относительно корпуса воздушного судна. Задача управления усугубляется наличием переходного режима полета – с режима висения в горизонтальный полет. Также в задаче должны быть учтены требования к отказобезопасности силовой установки воздушного судна. В докладе предлагаются пути решения проблемы.

1. Введение

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период 2035 года предусматривает повышение пространственной связанности, повышение оперативности движения грузов, повышение качества транспортных услуг в части комфортности и безопасности перевозок [1]. Для достижения обозначенных целей в отечественной промышленности ведутся работы по созданию нового поколения воздушных судов, что должно обеспечить транспортную и пассажирскую аэромобильность в городских агломерациях и труднодоступных местностях.

За рубежом, в основном в США, в Евросоюзе и в Китае, выполняются сотни проектов по разработке воздушных судов, обеспечивающей городскую и пригородную мобильность [2].

В общем и среднем, к таким воздушным судам предъявляются требования, указанные в таблице 1.

Таблица 1. Требования к перспективным ВС, обеспечивающим городскую и пригородную мобильность.

Параметр	Значение
Полезная нагрузка	до 1300 кг
Количество пассажиров	2-10
Целевое расстояние	150-600 км
Крейсерская скорость полета	200-350 км/ч
Размеры места взлета и посадки	Согласно требованиям к посадочным площадкам для вертолетов (ФАП 69 [11])
Безопасность пассажиров и окружающих	Не хуже, чем безопасность наземного транспорта
Уровень шума	Согласно АП-36 [8] менее 65 дБА
Стоимость перевозки пассажира или груза	Сопоставимо со стоимостью перевозки наземным (автомобильным) транспортом (такси)

Перечисленным в таблице 1 требованиям отвечает легкий вертолет, за исключением, в основном, стоимости перевозки (30000-100000 руб/час) [3, 4], обеспечения безопасности [5] и уровня шума (90-100 EPNdB) [6, 7].

Указанные в таблице 1 характеристики возможно достичь при условии разработки не совсем традиционных схем ВС, а именно: за счет применения на воздушном судне распределенной электрифицированной силовой установки [9].

2. Системы управления воздушных судов с распределенной силовой установкой

Распределенная силовая установка ВС – это устройство, распределенное по конструкции воздушного судна, которое обеспечивает создание сил тяги для обеспечения движения и управления ВС, компенсируя силу тяжести и аэродинамическую силу лобового сопротивления ВС. Примеры ВС с распределенной силовой установкой (PCU) приведены на рис. 1. [2, 10]



Рис. 1. Примеры воздушных судов с распределенной силовой установкой.

Распределенная силовая установка ВС состоит из множества (более трех) элементов – двигателей, обеспечивающих создание сил и моментов, и может иметь элементы поворота, обеспечивающих поворот векторов сил относительно корпуса ВС.

Движитель РСУ – это, как правило, воздушный винт или импеллер, приводимый электрическим двигателем. Каждый движитель создает силу, действующую вдоль оси вращения и реактивный момент сил, действующий против направления вращения. Векторная сумма сил всех движителей РСУ, а также силы тяжести, аэродинамические силы, силы контактного взаимодействия с поверхностью земли обеспечивают поступательное движение ВС. Векторная сумма реактивных моментов сил элементов РСУ, моментов сил элементов РСУ с учетом их распределения по ВС, аэродинамические моменты сил, моменты сил контактного взаимодействия обеспечивают вращательное движение ВС.

Управление движением воздушными судами с распределенной силовой установкой может обеспечиваться следующими принципами [2]:

- управление величиной векторов сил и реактивных моментов сил элементов РСУ (принцип управления квадрокоптером);
- управление направлением векторов сил элементов РСУ (принцип управления конвертопланом);
- управление аэродинамическими поверхностями (принцип управления самолетом);
- комбинированное управление величиной и направлением векторов сил, и аэродинамическими поверхностями.

На рисунке 2 приведены архитектуры ВС с РСУ, в том числе из работы [2].

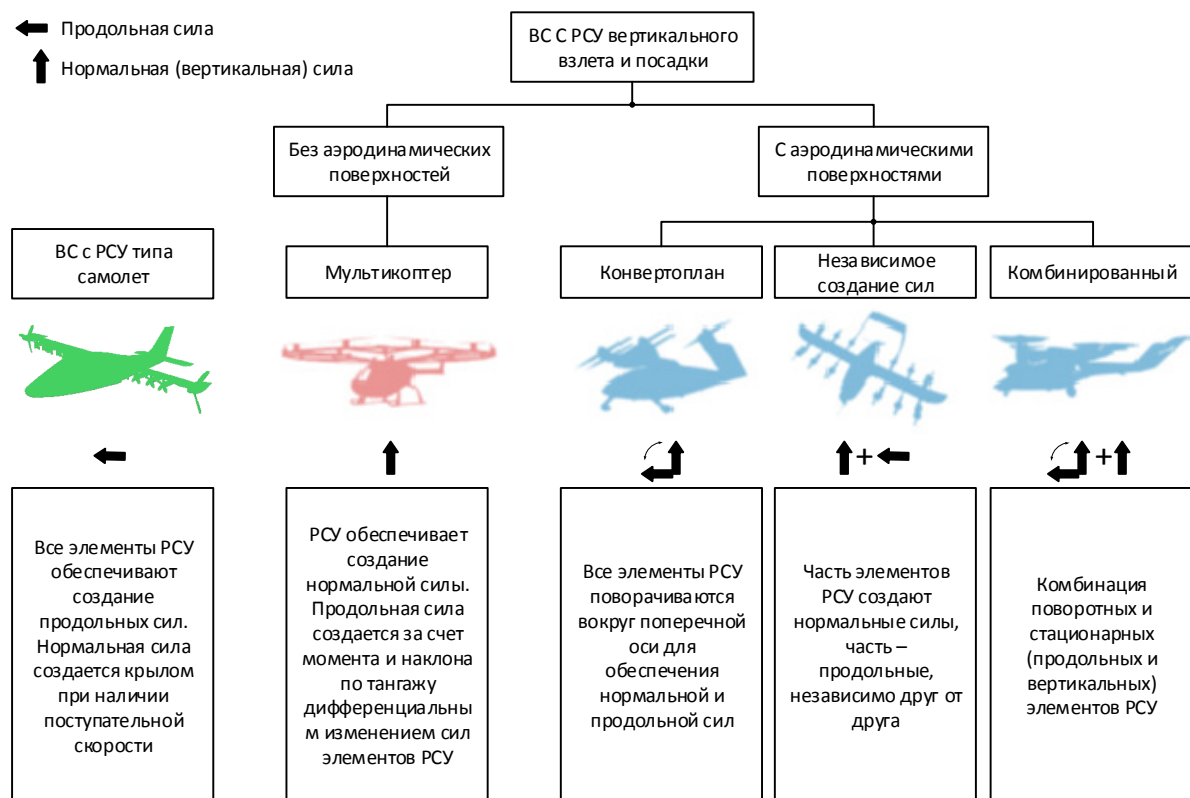


Рис. 2. Архитектуры ВС с РСУ.

3. Описание проблемы управления

Для всех типов ВС транспортной системы задачей управления движением является слежение за пространственной траекторией, задаваемой, как правило, организацией воздушного движения. Заданная траектория может быть представлена как

последовательный ряд векторов параметров. При этом вектор параметров пространственной траектории, как минимум состоит из пространственных координат, включая высоту полета, заданной скорости полета и заданного курса в конкретной точке пространства. В случае 4D навигации к этому добавляется еще параметр заданного времени.

В классических пилотируемых ВС (самолетах и вертолетах) заданная траектория поступает в контур управления, в котором пилот, оценивая текущий вектор состояния (текущие координаты, высоту, скорость, угловое положение и т.п.), обеспечивает слежение за заданной траекторией непосредственно или косвенно через управление угловым положением и скоростями. Управление осуществляется путем формирования сигналов управления органами воздействия, например, ручкой управления самолетом, рычагами управления двигателем, педалями в случае управления самолетом; ручкой циклического шага, рычагом общего шага, педалями в случае управления вертолетом. Сигналы управления от органов воздействия обеспечивают отклонение аэродинамических управляемых плоскостей: элеронов, рулей высоты направления и т.п., в случае управления самолетом; циклического шага и общего шага несущего винта, шага рулевого винта в случае управления вертолетом одновинтовой схемы. При этом пилот в контуре управления классических пилотируемых ВС для обеспечения управления вынужден задействовать все конечности – руки и ноги.

Наличие в комплексе оборудования классических пилотируемых ВС системы автоматического управления (автопилота) позволяет автоматизировать движение ВС – убрать из контура управления ВС пилота. Однако принцип работы системы автоматического управления схож с работой пилота – определение ошибки управления между заданными и текущими координатами и формирование сигналов управления на достаточно ограниченное количество каналов управления: по тангажу (или по высоте), по крену, по курсу (или по рысканию). При этом, если количество органов управления более чем два в одном канале, то их работа синхронизируется, либо автоматизируется, как например работа интерцепторов и элеронов коммерческих магистральных ВС.

4. Постановка задачи управления

ВС с PCY могут иметь десятки органов управления, синхронизация работы которых может сказаться отрицательно как на качестве управления, так и на отказобезопасности PCY в целом. Пилот физиологически не в состоянии обеспечивать управление в случае непрерывного управления более чем по четырем каналам. Исключение пилота из контура управления и обеспечение управления PCY с целью слежения за заданной траекторией с точки зрения математики и инженерии решаемая задача, при соблюдении условий управляемости. Однако текущие нормативные требования не позволяют полностью исключить пилота из контура управления. Отсюда возникает задача: разработка системы управления ВС с PCY, обеспечивающей слежение за заданной траекторией, при выполнении требований:

- должна быть обеспечена возможность управления траекторией движения пилотом ВС;
- должен быть обеспечен требуемый уровень отказобезопасности PCY и системы управления ВС в целом.

Необходимо отметить, что в целом ВС с PCY, как объект управления существенно нелинеен и нестационарен, для объекта характерен режим нестационарного (турбулентного) обтекания при переходе от режима висения к режиму прямолинейного горизонтального полета.

5. Заключение

Объект управления ВС с РСУ по сравнению с классическими ВС имеет существенные отличия в части наличия множества каналов управления, управление которыми непосредственно человеком-оператором невозможно по причине их большого количества. Автоматизация движения ВС с РСУ без участия пилота в контуре управления теоретически возможна, однако правила требуют его наличия в контуре. В данной работе предлагается применить метод управления, который применен для вертолета Белл-525 с цифровой электродистанционной системой управления и описан в работе [12]. Обеспечение требуемой отказобезопасности возможно за счет реализации реконфигурируемой системы управления [13].

Список литературы

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
2. Ugwueze O., Statheros T., Bromfield M., Horri N. Trends in eVTOL aircraft development: the concepts, enablers and challenges // AIAA SciTech 2023 Forum., AIAA 2023-2096, American Institute of Aeronautics & Astronautics, AIAA Scitech 2023 Forum, Maryland, United States, 23/01/23. <https://doi.org/10.2514/6.2023-2096>.
3. Чартерные перелеты. Сайт вертолетного клуба Hely Club. <https://heliclub.ru/rent/charter/> (дата обращения 15.01.2024).
4. «Вертолеты России» хотят списать более 1000 вертолетов. Сайт газеты Ведомости. <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/09/29/943007-vertoleti-rossii-hotyat-spisat-1000-vertoletov> (дата обращения 15.01.2024).
5. Страховщики сравнили шансы выжить в авариях на разных видах транспорта. Сайт новостного агентства РБК. <https://www.rbc.ru/finances/04/10/2019/5d9756e79a79479ac4b61cca> (дата обращения 15.01.2024).
6. Noise Sources and Their Effects. <https://www.chem.purdue.edu/chemsafety/Training/PPETrain/dblevels.htm> (дата обращения 15.01.2024).
7. Certificated noise level of different helicopters. https://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1132005/EIA/pdf/App%203.3.pdf (дата обращения 15.01.2024).
8. Авиационные правила. Часть 36. Сертификация воздушных судов по шуму на местности. АР МАК, 2003.
9. Каленский С.М., Морзеева Т.А., Эрохи Ю.А. Исследование путей повышения топливной экономичности СУ самолетов гражданской авиации 2030 годов за счет выбора рационального схемно-технического облика двигателей нетрадиционных схем // Всероссийская научно-техническая конференция «Авиадвигатели XXI века»: сборник тезисов докладов. М.: ЦИАМ, 2015. С. 59-61.
10. Lombaerts T., Kaneshige J., Feary M. Control Concepts for Simplified Vehicle Operations of a Quadrotor eVTOL Vehicle. 2020. 10.2514/6.2020-3189.
11. Федеральные авиационные правила «Требования к посадочным площадкам, расположенным на участке земли или акватории», утвержденные приказом Минтранса РФ от 4 марта 2011 г. № 69.
12. Sung Kim, Mike Bothwell and Robert Fortenbaugh, The Bell 525 Relentless, The World's First «Next Generation» Fly-by-Wire Commercial Helicopter. Bell Helicopter Textron. 2014.
13. Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Силаев А.В. Реконфигурация систем управления летательными аппаратами при отказах // Автомат. и телемех. 1996. № 1. С. 3-20.