

УДК 629.78

Анализ движения летательных аппаратов, управляемых внутренними подвижными массами

Кухаренко Андрей Сергеевич

kuharenko@bmstu.ru

Корянов Всеволод Владимирович

vkoryanov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Исследованы современные методы управления движением летательных аппаратов в различных средах и на разных скоростях. Рассмотрены три метода управления: аэродинамический, газодинамический и перемещением внутренних подвижных масс. Наибольшее внимание уделено последнему методу, обладающему преимуществами в универсальности применения. Полученные результаты подтверждают перспективность развития управления внутренними подвижными массами для повышения эффективности и универсальности летательных аппаратов. Выполнен анализ методов, используемых для записи математической модели движения летательного аппарата, управляемого рассмотренным методом.

Ключевые слова: внутренняя подвижная масса, управление движением, органы управления, летательный аппарат, стенд полунатурного моделирования

Motion analysis of aircraft controlled by internal moving masses

Kukharenko Andrey Sergeevich

kuharenko@bmstu.ru

Koryanov Vsevolod Vladimirovich

vkoryanov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This paper examines modern methods for controlling aircraft motion in various environments and at different speeds. Three control methods are considered: aerodynamic, gas-dynamic, and internal moving mass motion. Particular attention is given to the latter method, which offers advantages in terms of its versatility. The obtained results confirm the potential of developing internal moving mass control to improve the efficiency and versatility of aircraft. An analysis of the methods used to record the mathematical model of aircraft motion controlled by this method is provided.

Keywords: internal moving mass, motion control, controls, aircraft, semi-naturalistic modeling rig

Введение. Существуют различные методы управления движением летательных аппаратов в зависимости от исполнительных механизмов:

- аэродинамические органы управления;
- газодинамические органы управления;
- управление внутренними подвижными массами.

Аэродинамические органы управления создают управляющие силы за счет изменения условий внешнего обтекания летательного аппарата. Органы

управления данного типа применяются на летательных аппаратах, движущихся в плотных слоях атмосферы. Конструкция аппарата, реализующего этот метод, предполагает наличие подвижных элементов, контактирующих с внешней средой.

Газодинамические органы управления создают управляющие моменты и силы изменением направления газовой струи сопла двигательной установки. Применяют данные органы управления тогда, когда аэродинамические органы управления малоэффективны. Для работы газодинамических органов управления необходимо наличие рабочего тела на борту летательного аппарата [1].

Управление за счет подвижной массы — это механизм управления, предназначенный для регулирования углового положения летательного аппарата использующий движение внутренних масс [2, 3].

В сравнении с аэродинамическими и газодинамическими органами управления, метод управления подвижными имеет следующие преимущества.

Подвижные массы находятся внутри корпуса летательного аппарата и не создают газообразных выбросов при работе.

При движении в атмосфере, метод подвижных масс полностью использует аэродинамические свойства корпуса летательного аппарата, тем самым сохраняя энергию и увеличивая массу полезной нагрузки [4].

Метод управления внутренними подвижными массами применим для управления как в атмосфере, так и в космическом пространстве.

Траектория некоторых летательных аппаратов проходит на различных высотах, которые включают космическое пространство и плотные слои атмосферы. К таким летательным аппаратам можно отнести спускаемые аппараты. Также скорость движения таких аппаратов варьируется в процессе полета от сверхзвуковых до дозвуковых. Метод управления для данного типа летательных аппаратов должен быть эффективен на всех участках полета. Таким методом является метод управления внутренними подвижными массами.

Целью данной работы является анализ существующих методов управления движением летательных аппаратов с помощью внутренних подвижных масс и выбор подходящего математического аппарата для моделирования управляемого углового движения спускаемого аппарата.

Существующие конструкции систем управления с внутренними подвижными массами. Управление подвижными массами используется для создания поступательного движения и для управления угловым движением. В зависимости от того, какой способ изменения положения подвижных масс используется, их можно разделить на системы управления с линейным перемещением подвижных масс и на системы управления с угловым перемещением подвижных масс (рис. 1).

В зависимости от используемого количества подвижных масс в системе управления с линейным перемещением их разделяют на системы с одной, с двумя и тремя подвижными массами.

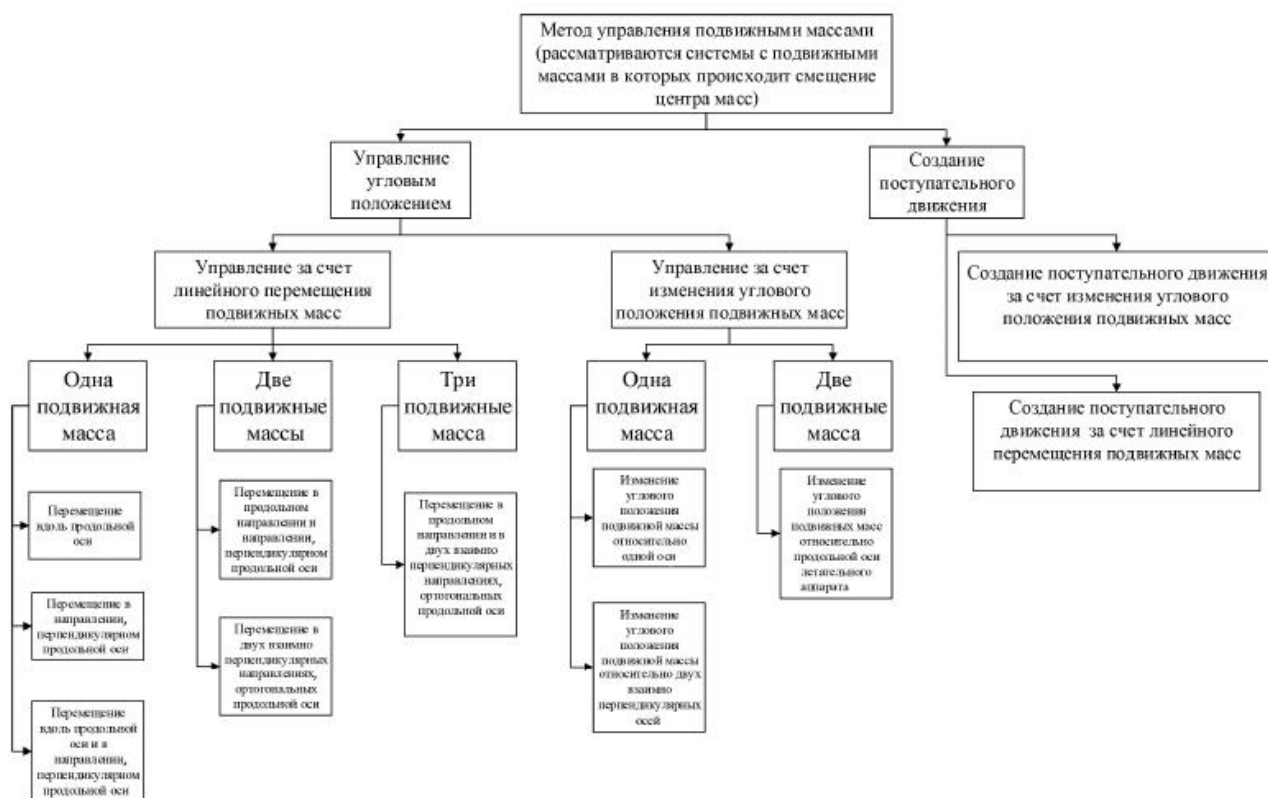


Рис. 1. Схема применения подвижных масс в управлении движением

В зависимости от используемого количества подвижных масс в системе управления с угловым перемещением их разделяют на системы с одной и двумя подвижными массами.

При управлении внутренними подвижными массами величина управляющего момента зависит от величины смещения центра масс относительно продольной оси. Величина смещения, в свою очередь, зависит от величины соотношения внутренней подвижной массы к общей массе летательного аппарата. Чем больше величина этого соотношения, тем большую величину смещения центра масс удастся достичь и тем более управляемым (маневренным) будет летательный аппарат. Наибольшей величины соотношения масс удастся достичь при изменении углового положения внутренней подвижной массы, схема летательного аппарата с таким методом управления представлена на рис. 2. Это объясняется тем, что внутренняя подвижная масса может представлять из себя полезную нагрузку, которая занимает большую часть общей массы летательного аппарата (спускаемого аппарата).

Использование единичной подвижной массы имеет преимущества перед много массовыми системами еще и тем, что упрощает систему управления движением.

Перечисленные преимущества данной конструкции с изменением углового положения подвижной массы определили выбор направления дальнейших исследований и построения математической модели.

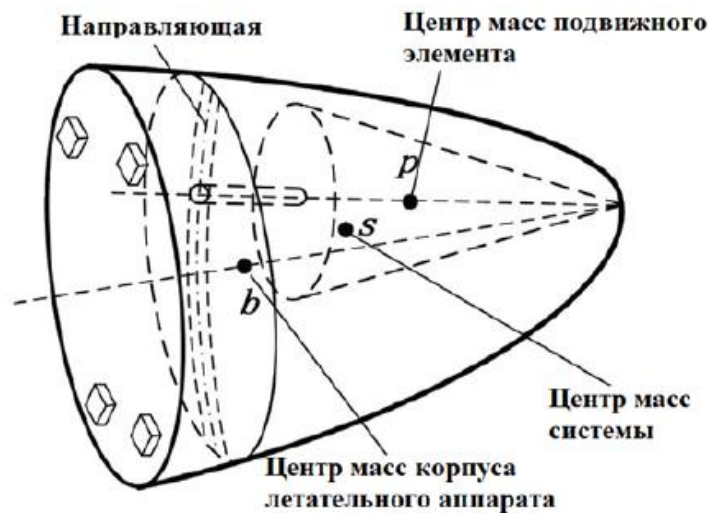


Рис. 2. Конструкция спускаемого аппарата с единичной подвижной массой

Методы построения математической модели углового движения. Для синтеза системы управления движением летательного аппарата управляемого подвижными массами, а также для анализа маневренных свойств и формирования требований к механическим устройствам системы управления, анализа перекрестных связей возникающих между каналами управления необходимы уравнения движения летательного аппарата управляемого данным методом.

В работе [5] по исследованию движения летательных аппаратов, управляемых изменением углового положения внутренней подвижной массы, используется теорема об изменении кинетического момента для вывода уравнений углового движения. Однако использование этой теоремы при описании движения имеет следующие сложности:

- запись уравнений осуществляется относительно центра масс, который изменяет свое положение в процессе управления движением летательного аппарата;

- из-за изменения положения центра масс и изменения положения элементов летательного аппарата происходит изменение моментов инерции, что также необходимо учесть при создании управляющих воздействий.

Уравнение Лагранжа 2-го рода используется при записи уравнений движения систем, которые в результате движения внутренних подвижных масс осуществляют поступательное движение. Для того чтобы воспользоваться данным уравнением необходимо записать выражение кинетической энергии исследуемой механической системы. Такое уравнение имеет следующие преимущества в сравнении с использованием теоремы об изменении кинетического момента:

- выражение кинетической энергии может быть записано относительно любой точки летательного аппарата;

- начало системы координат для записи уравнений движения можно выбрать таким образом, чтобы пересчет моментов инерции элементов спускаемого аппарата был менее трудоемким.

В связи с тем, что вывод математической модели с использованием уравнения Лагранжа 2-го рода более прост в сравнении с использованием теоремы об изменении кинетического момента, то этот метод целесообразно использовать при выводе уравнений управляемого движения летательного аппарата.

Заключение. В работе выполнен выбор конструкции летательного аппарата, управляемого подвижной массой для дальнейших исследований. Также в работе выбран метод для исследования и анализа управляемого движения.

Список источников

- [1] Калугин В.Т. *Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 688 с.
- [2] Menon P., Sweriduk E. Ohlmeyer G. Integrated guidance and control of moving mass actuated kinetic warheads. *Journal of Guidance Control & Dynamics*, 2004, № 27, pp. 118–126.
- [3] Кухаренко А.С., Корянов В.В. Движение спускаемого аппарата, управляемого изменением положения центра масс. *XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 39–41.
- [4] Кухаренко А.С., Корянов В.В. Уравнения углового движения спускаемого аппарата в системе координат, не связанной с его центром масс. *Будущее машиностроения России. XVII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (с междунар. уч.): матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 113–116.
- [5] Кухаренко А.С., Обносков К.Б., Игнатов А.И., Корянов В.В. Уравнения углового движения спускаемого аппарата управляемого смещением центра масс. *XLVIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 201–205.