
МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 629.7.085.2

Г. С. Аленченков, аспирант;

А. Э. Пушкарев, доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ СТАРТОВЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МАЛОЙ МАССЫ

Проанализированы современные конструкции стартовых устройств беспилотных летательных аппаратов малой массы. С помощью методов функционально-структурного анализа найдены новые структурные схемы механизмов стартовых устройств, проведено их сравнение.

Ключевые слова: структурный синтез механизмов, стартовое устройство, беспилотный летательный аппарат

В современном мире, начиная с XX века, продолжает свое развитие беспилотная авиация. Невоенные беспилотные летательные аппараты, применяемые в таких сферах, как дистанционное зондирование земли, контроль коммуникаций и границ, ретрансляция сигналов, снижают себестоимость услуг на порядок по сравнению с традиционными космическими или авиационными системами. Прогрессу беспилотных систем способствуют миниатюризация и удешевление электронных компонентов бортового оборудования. Низкая себестоимость беспилотного или дистанционно пилотируемого летательного аппарата по сравнению с традиционными авиационными системами позволила беспилотной авиации выйти на рынок и прочно занять свою нишу.

Для запуска беспилотного летательного аппарата самолетного типа с неподготовленных площадок или при отсутствии специально подготовленной взлетной полосы используются катапульты различных конструкций. Катапульта должна обеспечить надежный запуск летательного аппарата и при этом не оказывать каких-либо отрицательных влияний как на дорогостоящую аппаратуру, так и на конструкцию летательного аппарата.

Схемы существующих конструкций стартовых устройств показаны на рис. 1.

Для выбора наиболее рациональной конструкции стартового устройства воспользуемся методами функционально-структурного анализа. Функционально-структурная модель подробно рассмотрена в статье [1]. Метод структурного синтеза стартового устройства заключается в следующем.

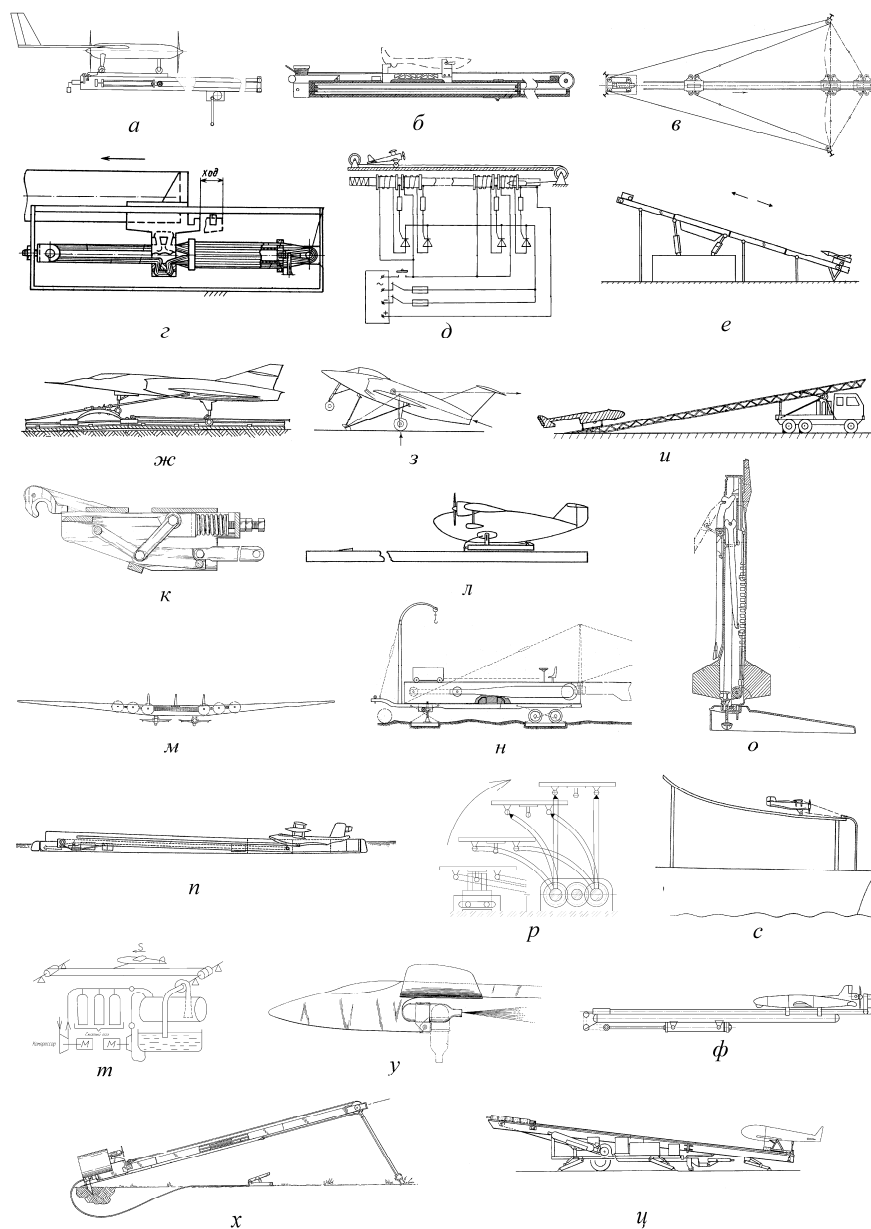


Рис. 1. Конструкции стартовых устройств беспилотных летательных аппаратов:

а–г – с источником энергии в виде упругого троса; д – электромагнитная катапульта; е – запуск летательного аппарата со специальным демпфером; ж и з – специальные механизмы крепления летательного аппарата на авианосцах; и – автомобильная катапульта; к – механизм, удерживающий летательный аппарат до достижения тяги винта требуемого значения; л – вакуумные крепления летательного аппарата; м – запуск с самолета; н – самодвижущаяся катапульта; о – реактивный запуск; п – катапульта для базирования на воде; р – запуск с поступательным движением каретки с помощью упругого плеча; с – вспомогательное устройство, создающее набегающий поток; т–ц – пневматические катапульти

На первом этапе синтеза структурных схем стартовых устройств задается главная функция стартового устройства, определяются ограничения по скорости запуска и массогабаритным характеристикам запускаемого аппарата. На втором этапе из ряда альтернатив, с помощью полной функционально-структурной модели, по коэффициентам вклада структур в выполнение функций определяется ряд конкурирующих структурных схем (табл. 1). Так, вклад всего стартового устройства в выполнение функций ГФ определяется вероятностью безотказной работы; вклад двигателя в выполнение функции ОФ1 определяется КПД; вклад направляющих (функция ОФ2) – отклонение от теоретического направления; вклад каретки (функция ОФ3) – жесткость крепления, упругие деформации.

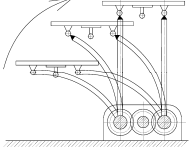
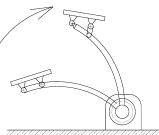
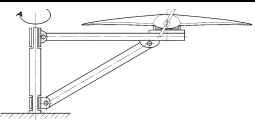
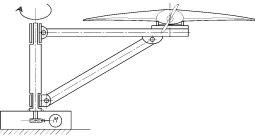
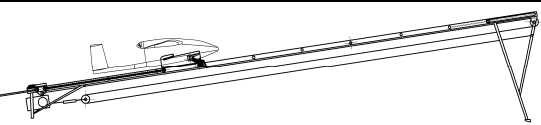
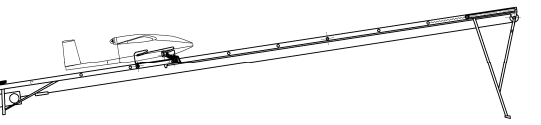
Таблица 1. Весовые коэффициенты функций

Уровень	Индекс функции	Материальный элемент	Вклад материального элемента
I	ГФ	Пусковая установка	Вероятность безотказной работы $P(t) \approx 0,98$
II	ОФ1	Двигатель	КПД $\eta \approx 0,4$
	ОФ2	Направляющие	Отклонение от теоретического направления, изменение углов траектории, тангажа, рысканья: $\Delta\varphi, \Delta\theta, \Delta\psi, \Delta\beta$
	ОФ3	Каретка	Жесткость конструкции IE , упругие деформации δ_k
III	Ф11	Передачный механизм	Закон изменения движущей силы $F(t)$
	Ф12	Аккумулятор энергии	Максимально возможный запас энергии $E_{\max}$, диапазон изменения рабочей температуры ΔT , закон передачи энергии от изменения емкости
	Ф31	Выключатель замка	Усилия срабатывания F_3
	Ф32	Тормоз каретки	Отрицательные перегрузки $a(t)/g$
IV	ВФ1	Замок каретки	Жесткость замка IE_3 , упругие деформации δ_3
	ВФ11	Динамометр	Точность прибора ΔF
	ВФ2	Амортизатор	Коэффициент поглощения энергии E_{Π}/E

Реализацию методики покажем на примере синтеза стартового устройства с вертикальной осью вращения.

Из сравнения коэффициентов вклада материальных элементов следует, что наиболее перспективными структурными схемами в этом случае являются схемы стартовых устройств с вертикальной осью вращения и дополнительными инерционными элементами. При запуске беспилотных летательных аппаратов малой и средней массы 30–50 кг обычно используют двигатели на основе упругих элементов; простые пневматические двигатели; пороховые и реактивные двигатели, характеризующиеся высокой пиковой нагрузкой в начальный момент. Поэтому целесообразны следующие структурные схемы: позволяющие снизить нагрузки на летательный аппарат; позволяющие уйти от необходимости применения двигателя стартового устройства; схемы со специальным двигателем. В табл. 2 показаны синтезированные структурные схемы.

Таблица 2. Синтезированные структурные схемы механизмов стартовых устройств

№ п/п	Стартовое устройство	Схема стартового устройства
1	С поступательным движением летательного аппарата	
2	С вращательным движением летательного аппарата вокруг горизонтальной оси	
3	С вращательным движением летательного аппарата вокруг вертикальной оси вращения	
4	С вращательным движением летательного аппарата вокруг вертикальной оси вращения с при наличии двигателя катапульты	
5	С линейными направляющими, с дополнительными инерционными элементами	
6	С линейными направляющими и амортизатором	

Первый вариант представляет собой схему, обеспечивающую поступательное криволинейное движение каретки с летательным аппаратом. При этом необходимо отметить, что для плавного разгона летательного аппарата требуются достаточно габаритные плечи катапульты. В процессе запуска на летательный аппарат будут действовать нагрузки от центробежных сил инерции, нехарактерные для летательного аппарата во время полета, что может потребовать дополнительное усиление конструкции летательного аппарата.

Второй вариант, так же, как первый, имеет горизонтальную ось вращения, но летательный аппарат в процессе запуска будет совершать вращательное движение. Необходимо отметить простоту конструкции и отрицательное влияние ускорения вследствие наличия угла атаки в процессе запуска, что может потребовать дополнительных конструкторских решений.

Третий вариант представлен в виде катапульты с вертикальной осью вращения. В данном случае используется преимущество замкнутой траектории, когда ускорение летательного аппарата может производиться сколь угодно плавно. Следует от-

метить отрицательное влияние углового ускорения рыскания самолета, однако это влияние не будет значительно сказываться на качестве запуска.

Четвертый вариант практически идентичен третьему. Вариант отличается наличием собственного двигателя катапульты, который необходим при относительно большом моменте инерции летательного аппарата и вращающегося тела катапульты относительно главной оси катапульты.

Пятый вариант отличается тем, что нагрузки, действующие на летательный аппарат в процессе запуска, аналогичны тем, что влияют на летательный аппарат в процессе свободного полета. В качестве передаточного механизма в данном случае используется система с двумя степенями свободы, что позволяет исключить ударные нагрузки в начальный момент.

Шестой вариант аналогичен пятому, однако в качестве амортизатора используется простой демпфер с пружиной, что позволяет снизить ударные пиковые нагрузки в начальный момент, но не исключает вредные колебательные нагрузки.

В табл. 3 приводится сравнение синтезированных структурных схем стартовых устройств. Функции, характерные для всех структурных схем и имеющие одинаковую значимость для функционирования стартового устройства, в табл. 3 не отображены.

Таблица 3. Сравнение структурных схем стартовых устройств беспилотных летательных аппаратов малой массы

Стартовое устройство (№ из табл. 2)	Вклад материального элемента в выполнение функции, %								
	ОФ1	ОФ2	Ф11	Ф12	Ф31	Ф32	ВФ1	ВФ2	ВФ11
1	100	100	60	70	100	80	100	50	40
2	100	80	50	70	100	80	100	40	30
3	70	100	80	80	50	100	100	100	50
4	100	80	60	70	50	100	100	100	50
5	100	100	50	65	100	90	70	80	50
6	100	100	50	65	100	90	70	60	40

Таким образом, наиболее рациональной конструктивно-компоновочной схемой для эффективного запуска беспилотных летательных аппаратов является синтезированная структурная схема № 3 из табл. 2 и 3. На предложенную схему получен патент Российской Федерации [2]. На рис. 2 показано устройство катапульты. Платформа 4 для крепления летательного аппарата 5 имеет криволинейные пазы для размещения роликовых бугелей 7 летательного аппарата. Устройство определения стартовой скорости представляет собой размещенный на плече рычага подпружиненный ползун 12, соединенный тягой 13 с фиксатором вертикального ригеля 14. Устройство определения направления полета содержит вертикальный ригель, находящийся над кулачком 16 и размещенный в пазах рычажного фиксатора тормоза 19.

После включения тягового двигателя платформа с летательным аппаратом начинает вращаться вокруг вертикальной оси 1 на рычаге 2. От перемещения по пазам платформы 4 летательный аппарат 5 удерживается замком бугелей 8, удерживаемым фиксатором замка бугелей 10. После достижения требуемой линейной скорости происходит расцепление летательного аппарата и торможение оси вращения 1.

Форма криволинейных пазов позволяет получить вертикальную составляющую скорости V_y , предохранить летательный аппарат от соударения с частями катапульти и снизить необходимую минимальную скорость старта V_x .

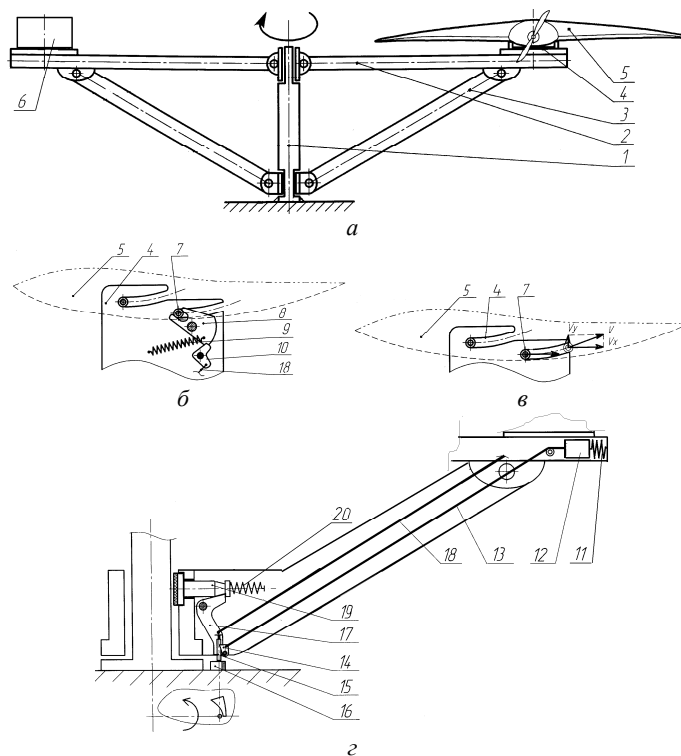


Рис. 2. Устройство катапульти:

а – общий вид катапульти с установленным на ней летательным аппаратом; *б* – устройство платформы для крепления летательного аппарата; *в* – летательный аппарат в момент запуска; *г* – устройство определения стартовой скорости и направления полета; 1 – вертикальная ось катапульти; 2 – двуплечий рычаг; 3 – подкосы; 4 – платформа; 5 – летательный аппарат; 6 – противовес; 7 – бугели летательного аппарата; 8 – замок бугелей; 9 – пружина замка бугелей; 10 – фиксатор замка бугелей; 11 – пружина; 12 – ползун; 13 – тяга; 14 – фиксатор ригеля; 15 – ригель; 16 – кулачок; 17 – рычажный фиксатор тормоза; 18 – тяга; 19 – колодка тормоза; 20 – пружина

Окончательное решение о выборе той или иной структурной схемы принимается после параметрического синтеза и анализа. Для проведения последнего необходимо составление математической модели динамики движения летательного аппарата, расчет по ней конструктивных параметров и параметров двигателя.

Библиографические ссылки

1. Пушкарёв А. Э., Аленченков Г. С. Функционально-структурная модель стартовых устройств летательных аппаратов малой массы // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 4–7.
2. Пат. на полезную модель 98396 РФ, МПК В64F 1/06. Катапульта / Г. С. Аленченков, А. Э. Пушкарёв. – № 2010119280/11 ; заявл. 13.05.10; опубл. 20.10.10, Бюл. № 29.

G. S. Alenchenkov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
A. E. Pushkarev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Structural synthesis of starting device mechanisms for low-weight pilotless aircrafts

Modern designs of starting devices of low-weight pilotless aircrafts are analyzed. By means of functional-structural analysis methods new structural schemes of mechanisms of starting devices are found, their comparison is carried out.

Keywords: structural synthesis of mechanisms, starting device, pilotless aircraft

Получено: 22.01.12

УДК 532.3, 519.635.8

Е. В. Ветчанин, младший научный сотрудник;
Удмуртский государственный университет
В. А. Тененёв, доктор физико-математических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ДВИЖЕНИЕ КАПЛЕОБРАЗНОГО И СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛ С ПЕРЕМЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ МАСС В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ *

Проведено численное моделирование движения тел каплеобразной и сферической форм с переменной геометрией масс на основе совместного решения трехмерных уравнений Навье – Стокса и уравнений Кирхгофа. Получено, что в вязкой жидкости перемещение каплеобразного тела больше, чем у сферического.

Ключевые слова: мобильные роботы, численные методы гидродинамики, нестационарные движения, переменная геометрия масс

Введение

Рассмотрим класс роботов, предназначенных для движения в водной среде. При этом перемещение робота должно осуществляться без применения внешних движущихся конструктивных элементов и без изменения геометрии внешнего корпуса. Перемещение тела в жидкости происходит за счет движения внутренних элементов. Характеристики движения внутренних масс необходимо подобрать таким образом, чтобы перемещение робота происходило в заданном направлении.

В работе [1] изучалось движение тела с переменной геометрией масс. Было показано, что в случае несимметричных присоединенных масс при перемещении внутренних материальных точек может быть создана тяговая сила в случае идеальной безграничной жидкости. Вязкие свойства жидкости приводят к дополнительной силе, действующей на движущееся тело. Исследование движения тела с внут-

© Ветчанин Е. В., Тененёв В. А., 2012

* Работа выполнена в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях ВПО (дог. № 11.G34.31.0039).