

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.7.085.2

Г. С. Алеченков, кандидат технических наук, инженер-конструктор;
ООО «Ижмаш» – Беспилотные системы»

А. Э. Пушкарев, доктор технических наук, профессор;
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова;

Л. А. Пушкарева, кандидат педагогических наук, доцент
Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, Ижевск

КЛАССИФИКАЦИЯ И СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ СТАРТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Установлены классификационные признаки и создана классификация механизмов старта беспилотных летательных аппаратов. Предложены наиболее перспективные схемы механизмов старта. Произведена оценка различных типов двигателей механизмов старта. Установлено, что для аппаратов малой и средней массы в качестве двигателей наиболее рационально использовать упругие звенья.

Ключевые слова: классификация, синтез механизмов, беспилотный летательный аппарат

Малые беспилотные летательные аппараты в настоящее время выступают как замена традиционных авиационных и космических систем, используемых в целях диагностики состояния удаленных или протяженных объектов. Для беспилотных летательных аппаратов самолетного типа, отличающихся низкой стоимостью, простотой конструкции и лучшими аэродинамическими качествами при преодолении максимальных расстояний по сравнению с беспилотными летательными аппаратами с вертикальным взлетом, актуален поиск и обоснование структур и параметров стартовых устройств. В статьях [1, 2] рассмотрены функционально-структурная модель стартовых устройств летательных аппаратов малой массы и синтез механизмов старта. Настоящая работа является продолжением этих исследований.

В целях эффективного синтеза структурных схем механизмов старта составлена их классификация (табл. 1). В качестве оснований классификации выбраны наиболее характерные для механизмов признаки: вид входа (внешний, внутренний), вид звеньев (жесткие, упругие), тип двигателя, вид кинематических пар, соединяющих звенья со стойкой (вращательная, поступательная). Особо отметим группу механизмов старта с внутренними входами. В последнее время подобные механизмы получили широкое распространение в различных изделиях машиностроения, но не применялись до сих пор в качестве механизмов старта. Разработанная классификация позволяет выполнить обширный обзор возможных механизмов, их анализ и произвести синтез наиболее рациональной структурной схемы.

В классификацию вошли как известные механизмы (1–7, 9, 11–19, 21–23, 25, 26, 28–31), так и новые:

– 20, 24, 27 – с вращательными кинематическими парами, соединяющими стойку с подвижными звеньями;

– 8, 10 – с поступательными кинематическими парами;

– 24 – кривошипный с вертикальной осью [3];

– 27 – кривошипный с вертикальной осью и внутренним входом;

– 8 – ползунный механизм с внутренним входом и дополнительным инерционным звеном;

– 20 – двухкривошипный с горизонтальной осью и внутренними входами;

– 10 – ползунный механизм с двумя внутренними входами и двумя дополнительными инерционными звеньями.

Методика синтеза структурных схем механизма старта, основанная на приведенной выше классификации и функционально-структурной модели механизмов старта [1, 2], состоит из следующих этапов:

1. Задается главная функция стартового устройства [1], определяются ограничения по скорости запуска и массогабаритным характеристикам запускаемого аппарата.

2. Из классификации структурных схем механизмов старта отбираются те, которые соответствуют заданным требованиям.

3. Из ряда альтернатив с помощью полной функционально-структурной модели по коэффициентам вклада структур в выполнение функций определяется ряд конкурирующих структурных схем.

3.1. Производится исключение заведомо неподходящих структурных схем на основании особенностей летательного аппарата и технического задания на комплекс с применением беспилотного летательного аппарата.

3.2. На основании классификации и функционально-структурной модели производится количественная оценка выбранных альтернатив.

3.3. Выбирается схема с наибольшей оценкой

$$A_j = \sum k_i \alpha_{ij}, \text{ где } k_i - \text{значение весового коэффициента}$$

ента для соответствующей функции; a_{ij} – оценка вклада материального элемента механизма в выполнение функции.

Оценка как существующих, так и вновь синтезированных структурных схем механизмов старта согласно приведенной выше методике представлена в табл. 2, нумерация схем согласно табл. 1.

Таблица 1. Классификация механизмов старта

			Кинематические пары (КП), соединяющие механизм со стойкой (П – поступательные, В – вращательные)		
			ПКП и ее производные	ВКП с горизонтальной осью и ее производные	ВКП с вертикальной осью и ее производные
С внешними входами	одно звено	Механизм с жесткими звеньями	1	12	22
		Механизм с упругими звеньями	3	13	23
	несколько звеньев	Механизм с жесткими звеньями	4	14	24
			5	15	25
			6	16	26
			7	17	27
Механизм с упругими звеньями	-	18	28		
С внутренними входами	С одним внутренним входом	Механизм с жесткими звеньями	8	19	29
		Механизм с упругими звеньями	-	20	30
	С несколькими внутренними входами	Механизм с жесткими звеньями	10	21	31
		Механизм с упругими звеньями	-	22	-

Функции, характерные для всех структурных схем и имеющие одинаковую в процентном соотношении значимость для функционирования стартового устройства, в табл. 2 не отображены.

Таким образом, выявлено, что наиболее перспективными структурными схемами являются две схе-

мы стартовых устройств: с вертикальной осью вращения № 24 и с дополнительными инерционными звеньями № 8.

Проблемой, связанной с поиском структурных схем механизмов старта, является выбор наиболее подходящего двигателя старта. При запуске беспи-

лотных летательных аппаратов малой и средней массы (до 50 кг) обычно используют следующие двигатели: двигатели на основе упругих звеньев; простые пневматические двигатели; пороховые и реактивные двигатели, характеризующиеся высокой пиковой нагрузкой в первоначальный момент производства запуска. Поэтому целесообразно применять структурные схемы, позволяющие снизить нагрузки на летательный аппарат, вызванные особенностями применяемого двигателя стартового устройства, а также схемы, позволяющие исключить двигатель стартового устройства.

Таблица 2. Оценка вклада материальных элементов в выполнение функции

Схема	Значение весового коэффициента, k_j												Оценка A_j	
	ГФ	ОФ ₁	ОФ ₂	ОФ ₃	ФФ ₁	ФФ ₂	ВФ ₁	ВФ ₂	ВФ ₃	ВФ ₄	ВФ ₅	ВФ ₁₁		
	0,11	0,15	0,07	0,05	0,06	0,08	0,04	0,1	0,12	0,03	0,09	0,04		
Оценка вклада в функцию α_{ij} , %														
ПКП	1	90	70	95	100	95	95	100	45	100	35	95	60	78
	2	96	70	95	100	95	95	100	50	95	35	80	70	77
	3	80	75	70	90	95	95	100	50	95	35	95	55	75
	4	90	75	95	100	85	95	100	50	95	35	85	55	77
	5	95	70	95	100	95	95	95	50	90	30	85	70	77
	6	90	70	95	100	95	95	100	55	90	30	70	60	75
	7	80	80	70	95	95	95	100	50	90	30	75	55	73
	8	90	95	95	100	95	95	100	95	90	35	95	65	86
	9	95	95	98	100	95	95	100	55	90	35	90	70	82
	10	90	95	95	100	95	95	95	95	80	40	95	60	84
	11	85	90	95	100	85	95	100	90	75	30	90	70	81
ВКП с горизонтальной осью	12	80	75	95	100	65	95	95	55	80	30	70	60	72
	13	70	70	90	100	75	95	100	10	75	30	70	60	65
	14	85	75	95	100	65	95	100	60	70	35	55	65	71
	15	80	75	95	100	75	95	100	50	80	35	70	60	72
	16	80	70	90	100	75	95	100	50	70	30	70	50	69
	17	85	75	95	100	75	95	100	45	85	30	70	60	73
	18	85	75	95	100	75	95	95	50	80	40	65	60	72
	19	80	80	95	100	65	95	95	55	75	45	70	65	73
	20	90	80	95	100	70	95	100	55	70	45	75	65	74
	21	70	75	80	100	65	95	100	50	90	25	60	65	70
	22	75	90	85	100	75	90	100	95	90	90	85	60	81
ВКП с вертикальной осью	23	70	65	85	95	75	80	100	65	75	90	85	50	71
	24	80	90	85	100	80	90	100	95	90	90	90	60	83
	25	80	90	90	100	75	90	100	95	90	90	90	50	82
	26	70	80	80	95	70	80	100	60	75	75	75	60	71
	27	90	95	90	100	75	85	100	95	75	90	85	60	82
	28	85	90	85	100	75	80	100	95	70	90	85	60	79
	29	90	90	90	100	75	80	95	95	75	90	85	60	81
	30	85	90	90	100	70	80	90	95	75	90	85	60	80
	31	85	90	90	100	65	80	90	95	75	90	90	60	80

В связи с этим становится актуальной задача снижения пиковых нагрузок от двигателя на каретку и летательный аппарат. Необходимо отметить, что для запуска беспилотных летательных аппаратов малой массы рационально использовать наиболее простые двигатели, имеющие невысокие эксплуатационные требования и не требующие каких-либо дополнительных источников энергии, например, двигатели на основе упругих звеньев, пневматические, пороховые и т. д.

Стартовое устройство, как любое изделие, имеет жизненный цикл. Помимо времени непосредственной работы механизма, которое составляет 5–150 с, оно проходит следующие этапы, длительность которых составляет 2–5 и более лет:

- разработка технического задания на стартовый механизм в составе комплекса с беспилотным летательным аппаратом;
- конструкторская подготовка производства;
- технологическая подготовка производства (проектирование и изготовление, приобретение, установка и отладка необходимого оборудования);
- производство (в том числе сопроводительная документация, специальная тара);
- обращение (складирование, подготовка к перевозке, доставка потребителю, хранение и т. п.);
- эксплуатация (использование, сервисное обслуживание и ремонт);
- утилизация.

Результаты сравнительной оценки различных типов двигателей для механизма старта в составе носимого комплекса с беспилотным летательным аппаратом массой до 50 кг представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительная оценка различных типов двигателей механизмов старта беспилотных летательных аппаратов

Параметр, максимальный балл	Тип двигателя						
	упругое звено, пружина	электрический	линейный	пороховой	пневматический	гидравлический	реактивный
Конструкторская подготовка, 6	6	6	6	3	6	6	3
Технологическая подготовка, 3	3	3	3	1	2	2	1
Производство, стоимость производства, 3	3	1	1	1	1	1	1
Специальная тара, противоударное, влаго-, пылезащитное исполнение, 8	8	4	3	8	4	4	3
Необходимость в дополнительном энергоносителе, 5	5	1	1	3	5	5	1
Необходимость в генераторе энергии, 5	5	3	3	5	5	5	5
Требования к условиям хранения, транспортировке, в том числе энергоносителя, 5	5	2	2	2	3	3	2
Требование к квалификации оператора катапульты, 4	4	3	3	2	4	4	2
Требования к специальным разрешениям, допускам, лицензиям, требованиям к безопасности, 3	3	3	3	1	2	2	1
Сервисное обслуживание, ремонт (объем работ, квалификация, стоимость), 10	10	8	7	8	7	7	6
Утилизация, 3	3	1	1	1	3	3	2
Итого:	55	35	33	35	42	42	27

Из табл. 3 следует, что наибольшей оценкой обладает простое упругое звено.

Таким образом, с помощью классификации механизмов старта установлено, что наиболее перспективными структурными схемами являются две схемы стартовых устройств: с вертикальной осью вращения и с дополнительными инерционными звеньями; в качестве двигателей механизмов старта наиболее целесообразно использовать упругое звено.

Библиографические ссылки

1. Аленченков Г. С., Пушкарев А. Э. Функционально-структурная модель стартовых устройств летательных аппаратов малой массы // Вестн. Ижев. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 2. – С. 4–7.
2. Аленченков Г. С., Пушкарев А. Э. Структурный синтез механизмов стартовых устройств беспилотных летательных аппаратов малой массы // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2012. – № 1. – С. 5–11.
3. Пат. на полезную модель 98396 РФ, МПК В64F 1/06. Катапульта / Г. С. Аленченков, А. Э. Пушкарев. – № 2010119280/11; Заявлено 13.05.2010. – Опубл. 20.10.2010. – Бюл. № 29.

G. S. Alenchenkov, PhD in Engineering, Engineer, LLC «Izhmash - Unmanned Systems»
 A. E. Pushkarev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 L. A. Pushkareva, PhD in Education, Associate Professor, Kamsky Institute of Humanities and Engineering Technologies, Izhevsk

Classification and synthesis of starting mechanisms of unmanned aerial vehicles

Classification signs are established and the classification of starting mechanisms of unmanned aerial vehicles is created. The most perspective schemes of starting mechanisms are offered. Assessment of various types of engines of starting mechanisms is made. It is established that it is most rational to apply elastic links as engines for vehicles of small and average weight.

Keywords: classification, synthesis of mechanisms, unmanned aerial vehicle

Получено: 25.04.13

УДК 621.833.1

В. И. Гольдфарб, доктор технических наук, профессор;
 С. А. Поскребышев, аспирант;
 А. А. Ткачев, кандидат технических наук, доцент
 Ижевский государственный технический университет
 имени М. Т. Калашникова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ДИНАМИЧНОГО БЛОКИРУЮЩЕГО КОНТУРА

Одним из новых подходов к проектированию эвольвентных цилиндрических передач (ЭЦП) является концепция динамического блокирующего контура (ДБК). Изложен один из возможных путей расширения концепции ДБК. Показаны новые линии «инструменты», связанные с прочностными характеристиками передач, которые могут быть добавлены к набору линий, используемых в САПР ЭЦП «Контур», разработанной на основе данной концепции. Описаны некоторые новые возможности, которые приобретает САПР в связи с этим.

Ключевые слова: цилиндрическая зубчатая передача, динамичный блокирующий контур, прочностной расчет

Введение

Среди множества разновидностей зубчатых передач, используемых в технике, эвольвентные цилиндрические передачи по-прежнему являются одними из самых распространенных. Это в значительной степени обусловлено технологичностью их изготовления и хорошими техническими характеристиками. Эвольвентные цилиндрические передачи (ЭЦП), как и многие другие разновидности зубчатых передач, характеризуются большим количеством геометрических, прочностных и кинематических параметров, расчет которых достаточно сложен и трудоемок. Это, естественно, делает процесс проектирования более сложным и длительным. Используемые при проектировании методики далеко не всегда позволяют оптимизировать те или иные параметры передач

в зависимости от предъявляемых к ним требований и свести к минимуму временные затраты. В этой связи разработка новых методов и подходов, повышающих производительность и качество проектирования ЭЦП, продолжает оставаться актуальной. Одним из таких подходов является концепция динамического блокирующего контура (ДБК), позволяющая благодаря применению современной вычислительной техники и программного обеспечения в значительной степени по-новому подойти к процессу проектирования ЭЦП. Применение данной концепции по отношению к прочностному расчету может открыть новые возможности при проектировании ЭЦП, повысить эффективность и качество процесса проектирования передач данного типа.