

УДК 639.7.05

П.С. БОНДАРЧУК

Казённое предприятие специального приборостроения «Арсенал». Украина

**РЕЗОНАНСНЫЙ РУЛЕВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА**

Проведена количественная оценка влияния массы составных частей противотанковых ракет на их стартовую массу, что позволяет ощутить ожидаемый выигрыш от снижения массы конструкции составных частей ракет указанного класса. Дано понятие о резонансном рулевом электрическом приводе вращающихся по крену управляемых ракет и снарядов. Проведен сравнительный анализ технического уровня существующих образцов блоков электрических рулевых приводов на основе показателей качества и выявлены неиспользованные резервы повышения удельных характеристик блоков резонансных рулевых электрических приводов.

Ключевые слова: резонансный рулевой электрический привод, исполнительный двигатель, удельные характеристики.

Введение

Развитие современной ракетной техники идёт по пути достижения тактико-технических характеристик (ТТХ), превосходящих аналогичные характеристики ракет противников и конкурентов. Соперничество на рынке вооружений вынуждает искать пути повышения конкурентоспособности ракетной техники через улучшение её ТТХ, в том числе и через снижение массы и габаритов всех составных частей ракет, включая рулевой привод.

Анализ ТТХ, например, противотанковых ракет показывает, что для современных ракет этого класса один килограмм веса конструкции в среднем увеличивает стартовый вес ракеты на четыре килограмма. В подтверждение сказанному на рис. 1 приведена аппроксимирующая линия, показывающая среднее

отношение общей массы противотанковых ракет к массе их боевых частей. Точки на графике соответствуют конкретным противотанковым ракетам, необходимые данные о ТТХ которых взяты из открытой печати и приведены в табл. 1 (БЧ – боевая часть).

Как и вся ракетная техника, рулевой привод развивался по принципу выполнения возложенной задачи при наименьших весе и габаритах, по пути достижения наилучших удельных характеристик. В различных ракетах нашли применение приводы самых различных типов: пневматические, газовые, гидравлические, электромагнитные и, наконец, электрические.

Появление отечественных электрических рулевых приводов (ЭРП) связано с разработкой теории рулевого привода вообще и электрического рулевого привода в частности [1 – 6].

Таблица 1

ТТХ некоторых противотанковых ракет

№ п/п	Наименование комплекса/ракеты (страна, год)	Дальность, км	Скорость, м/с	Бронепробитие, мм	Тип БЧ	Масса БЧ, кг	Калибр, мм	Длина, мм	Масса ракеты, кг.	Отношение массы ракеты к массе БЧ
1	RED-ARROW 8 (Китай)	0,1...3,0	220	800	Кумулятивная	3	130	875	11,2	3,7
2	«Конкурс» (Россия, 1974)	0,075...4,0	208	600	Кумулятивная	2,7	155	1300	13,0	4,8
3	«Hellfire», (США, 1980)	8,5	230	1000	Тандемная кумулятивная	11,0	178		46,0	4,2
4	«TOW-2B», (США, 1985)	3,75	320	1000	Кумулятивная	5,8	152		24,0	4,1
5	«HOT-2», (Франция, ФРГ, 1985)	0,075...4,0	240	1250	Тандемная кумулятивная	8,0	150	1300	20,0	2,8
6	«Мейверик», (США)	20,0	св/зв 2М		Кумулятивная, осколочно-фугасная	57,0	300	2460	220	3,9
7	КАМ-30 (Япония, 1963)	0,35...1,8	85	500	Кумулятивная	1,5	120	1015	15,7	10,5
8	MILAN (ФРГ, Франция, 1978)	0,25...2,0	200	550	Кумулятивная	3	116	750	6,7	2,3
9	СВИНГФАЙР (Великобрит, 69)	0,15...4,0	185	500	Кумулятивная	7	170	1060	26,7	3,8
10	ДРАКОН (США, 1968)	0,3...1,0	110	430	Кумулятивная	2,4	122	744	10,5	4,4

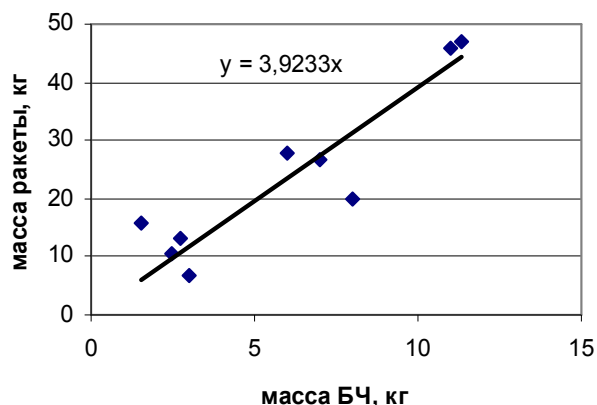


Рис. 1. Зависимость общей массы противотанковых ракет от массы боевой части

В настоящее время ЭРП является самым перспективным для применения в ракетах любых классов, поскольку по важнейшему параметру – удельным характеристикам он сравним или превосходит приводы других типов, а по другим параметрам ему нет равных.

Бурное развитие электроники и электротехники привело к возможности создания два десятилетия назад первых образцов ЭРП, удельные характеристики которых приближались к характеристикам лучших приводов других типов. ЭРП обладают при этом целым рядом преимуществ: это высокие точность и динамика, отсутствие необходимости обслуживания, высокая надёжность и контролепригодность, длительный ресурс и срок службы, сравнительная простота и удобство работы, низкий шум. Благодаря всем этим качествам ЭРП нашёл применение в целом ряде отечественных образцов ракетной техники, многие из которых приняты на вооружение.

Резонансные ЭРП нашли применение в составе систем управления (СУ) вращающихся по крену ракет. При этом возможности их совершенствования, улучшения характеристик далеко не исчерпаны. Исследованиям этих возможностей и посвящена данная работа.

Рассматривая вопрос о массогабаритных показателях рулевого привода, необходимо иметь в виду, что если энергетический канал привода не обеспечивает требуемую динамику нагрузки, то никакими ухищрениями в построении структурной схемы привода или подбором параметров её звеньев добиться требуемого закона движения нагрузки не удастся. При этом элементы, которые определяют энергетику привода, определяют и его массогабаритные показатели. В нашем случае этими элементами являются первичный источник питания (ИП) и исполнительный двигатель (ИД).

Отличительной особенностью работы рулевых

приводов систем управления вращающихся по крену управляемых ракет и снарядов является обработка гармонического входного сигнала с переменными амплитудой и частотой, определяемых, соответственно, ошибкой рассогласования контура управления ракетой и частотой вращения ракет по крену. Для разработки высокоточных вращающихся по крену управляемых ракет и снарядов из состава существующих и вновь разрабатываемых комплексов управляемого вооружения необходимо существенное повышение динамической точности рулевого привода, оцениваемое фазовыми погрешностями (фазовыми сдвигами) обработки гармонических входных сигналов в диапазоне частот вращения ракет для всех уровней амплитуд входного сигнала. Как следует из [7], требуемый разброс по фазовому сдвигу при обработке этих гармонических входных сигналов рулевым приводом высокоточных управляемых ракет и снарядов должен быть не более $\pm(4...5)^\circ$.

Недостатком обычных (нерезонансных) рулевых приводов при обработке гармонических входных воздействий является то, что они требуют больших затрат энергии, которая расходуется на разгон и торможение ротора ИД, с чем связаны высокие потери, которые приводят к сильному нагреву его обмоток, к большому фазовому сдвигу. Затраты энергии, потери и фазовый сдвиг тем больше, чем выше частота и амплитуда входного сигнала.

Понятие о резонансном рулевом электрическом приводе

Резонансный рулевой электрический привод отличается от обычного тем, что в результате специального выбора передаточного числа редуктора в диапазоне рабочих частот и нагрузок возникает инерциально – нагрузочный механический резонанс. При этом аэродинамический напор на руль, характеризующийся шарнирным моментом нагрузки привода, играет роль пружины, а ротор ИД – роль маятника. Электрические характеристики исполнительного двигателя никак не влияют на условия возникновения резонанса, а вот работа привода в таком режиме характеризуется резким снижением потребляемой энергии и энергии потерь, поскольку для осуществления управления используется энергия набегающего потока. Теоретически при нулевом моменте трения привод в режиме резонанса имеет нулевое энергопотребление и нулевые потери. На практике можно обеспечить режим, при котором энергия затрачивается только на преодоление момента трения в редукторе и на изменение амплитуды и фазы колебания выходного звена привода.

Резонансный рулевой электрический привод, рис. 2, содержит сумматор, один из входов которого

является входом привода и на него подаётся входное воздействие. За ним стоят последовательно соединённые корректирующее звено, усилитель мощности и электрическая рулевая машина, выход которой является выходом привода. К выходу привода подключен элемент преобразования угла поворота рулей в сигнал обратной связи, который соединён со вторым входом сумматора. Электрическая рулевая машина представляет собой электрический двигатель и редуктор. Выходной вал привода дополнительно нагружен на пружинный нагрузитель - компенсатор помогающего момента внешней нагрузки. Коэффициент шарнирного момента дополнительного нагрузителя и передаточное число редуктора выбраны так, что для всего рабочего диапазона коэффициентов шарнирного момента нагрузки во всем диапазоне рабочих частот входного сигнала привод работает в режимах, близких к резонансным.

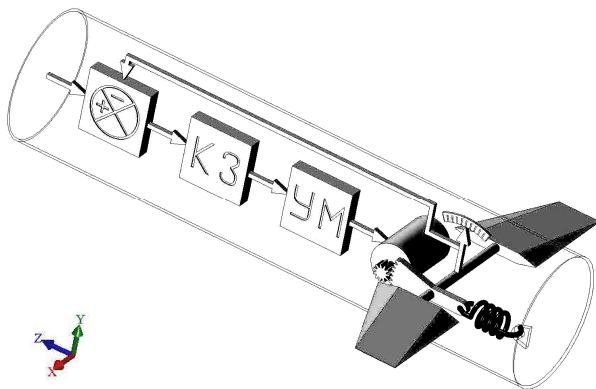


Рис. 2. Резонансный рулевой электрический привод:
 КЗ – корректирующее звено;
 УМ – усилитель мощности

Итак, резонансный электрический привод – это следящий по положению электрический привод, выходное звено которого в диапазоне рабочих частот и рабочих шарнирных моментов нагрузки работает в условиях инерциально-нагрузочного резонанса.

Необходимым условием возникновения инерциально-нагрузочного резонанса является равенство:

$$K_{ш} = J_{н\Sigma} \cdot \omega^2 = (J_{н} + J_{дв} \cdot q^2) \cdot \omega^2, \quad (1)$$

где $K_{ш}$ – коэффициент шарнирного момента нагрузки,

$J_{н\Sigma}$ – приведенный к выходному валу суммарный момент инерции нагрузки,

$J_{н}$ – собственный момент инерции нагрузки

$J_{дв}$ – момент инерции ротора двигателя,

q – передаточное число редуктора,

ω – круговая частота выходного вала.

Приведенный к выходному валу суммарный момент инерции нагрузки равен сумме собственно момента инерции нагрузки и приведенного к выходному валу момента инерции ротора двигателя. В реальности для приводов с большим передаточным числом редуктора первое слагаемое оказывается

более, чем на 2 порядка меньше второго, поэтому им часто пренебрегают.

Как показано в [1, стр. 26...32], потребная мощность привода и источника питания в резонансном режиме понижаются до своих минимальных значений. Энергопотребление рулевого привода в реальных ракетах становится ниже энергопотребления других элементов системы управления. Это позволяет перейти на единый источник питания для всей бортовой системы управления, упростить её конструкцию, снизить массу и габаритные размеры.

Резонансный ЭРП обеспечивает разброс по фазовому сдвигу не более $\pm 2^\circ$ при отработке гармонических входных воздействий в диапазоне частот до 20 Гц. Такая высокая динамическая точность обеспечивается во всём диапазоне рабочих температур, климатических условий и при всех видах механических воздействий.

Применение резонансного ЭРП в составе систем управления различных вращающихся по крену ракет и снарядов позволило обеспечить увеличенную дальность, более высокую надёжность и точность наведения. Эффективность этого решения подтверждена успешными результатами многократных испытаний в составе ряда ракет. Решение защищено соответствующими патентами [8, 9].

Особенности работы ЭРП в СУ вращающейся по крену малогабаритной управляемой ракеты характеризуются следующими факторами:

- краткое время работы в боевом режиме (до двух - трёх десятков секунд);
- синусоидальный характер вращения выходного вала;
- широкий диапазон частот вращения при большой амплитуде углов отклонения выходного вала;
- широкий диапазон изменения шарнирного момента нагрузки, возможность появления помогающей нагрузки;
- широкий диапазон рабочих температур;
- большая стартовая перегрузка;
- длительные сроки хранения при отсутствии возможности обслуживания.

Указанные особенности накладывают соответствующие требования на все элементы ЭРП, включая важнейшие из них: ИД и ИП. При проектировании резонансного ЭРП выбору параметров ИД и редуктора уделяется основное внимание. Отметим, что снижение массы самих этих элементов приводит также к снижению массы конструкции, которая должна обладать достаточными прочностью и устойчивостью при воздействии больших стартовых перегрузок.

Вопросам выбора ИД и передаточного числа редуктора при гармоническом законе движения привода посвящены главы в [1, 2]. Приведенные в

них методики на основе анализа различных вариантов и возникающих при этом ограничений позволяют осуществить выбор ИД и передаточного числа редуктора, обеспечивающих требуемые характеристики привода и оценить потребные мощности в различных режимах.

Вопросы оптимизации параметров по критериям наименьшей потребной мощности ИД и потребляемой энергии ИП рассмотрены в [6] и [10]. Приведенные в них методики позволяют осуществить выбор наиболее выгодных параметров при заданных характеристиках ИП или ИД и получить хороший технический результат: снижение энергопотребления, улучшение динамических и массогабаритных характеристик.

Однако все они не учитывают специфики кратковременности действия ракетной техники рассматриваемого класса, учёт которой содержит неиспользованный резерв улучшения технических характеристик рулевых приводов вращающихся по крену малогабаритных управляемых ракет. Учёт возможности многократного форсирования исполнительного двигателя в силу кратковременности рабочего режима позволит достичь более высоких удельных характеристик систем управления. Реализация этого резерва может дать импульс дальнейшему развитию управляемой ракетной техники, созданию новых образцов.

Анализ технического уровня ЭРП

Для того, чтобы убедиться в существовании этого резерва, проведём качественный анализ существующих электрических рулевых приводов.

Конструктивно электрические приводы выполняются в виде блоков (отсеков) ракеты, торпеды, снаряда или в виде отдельных рулевых машин. Они содержат исполнительные электродвигатели с редукторами, датчики углов поворота рулей, электромагнитные арретирующие устройства для механического стопорения рулей, электронную систему управления и встроенное устройство предстартовой проверки исправности. Управление приводами осуществляется аналоговыми электрическими сигналами или цифровым кодом.

Питание осуществляется от автономных электрохимических источников тока.

Характеристики существующих блоков электрических рулевых приводов, а также тип и масса

применённых в них ИД приведены в табл. 2, а их внешний вид – на рис. 3.

Отметим, что представленные в указанной табл. 2 приводы №1...№5 не являются резонансными и предназначены для стабилизированных по крену ракет. Приводы №6, №7 и №8 предназначены для работы в составе СУ вращающихся по крену ракет и являются резонансными.

Для оценки достигнутых удельных характеристик приводов, по мнению автора, целесообразно пользоваться следующими двумя показателями качества:

1. Показатель использования массы исполнительного двигателя:

$$\Pi_{\text{ид}} = \frac{P \cdot t}{m_{\text{ид}}}, \quad (2)$$

где P – средняя мощность потребления, t – время полёта, $m_{\text{ид}}$ – масса ИД.

Этот показатель есть отношение потреблённой приводом за время полёта электрической энергии, рассчитанной как произведение средней мощности потребления на время полёта к массе ИД.

2. Показатель совершенства конструкции:

$$\Pi_{\text{ск}} = \frac{M_{\text{max}}}{m}, \quad (3)$$

где M_{max} – максимальный суммарный момент нагрузки на выходных валах привода (на рулях); m – масса блока.

Чем выше значение показателя, тем более качественно спроектирован привод.

Значения указанных показателей качества приведены в последних двух строках табл. 2.

Следует оговориться, что правильнее было бы оценивать использование массы исполнительного двигателя по показателю, основанному на отношении полезной механической энергии (т.е. энергии, отдаваемой в нагрузку) к массе ИД, однако измерение этой энергии вызывает определённые трудности. Принимая во внимание, что применяемые ИД имеют примерно одинаковый коэффициент полезного действия, а основными потерями в приводах являются потери на активном сопротивлении проводов обмоток ИД использование показателя по потреблённой энергии можно считать вполне оправданным. При этом показатель легко измерить и рассчитать.



Рис. 3. Внешний вид различных блоков электрических рулевых приводов

Таблица 2

Характеристики блоков ЭРП

Наименование характеристики	Порядковый номер привода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Внешний диаметр (калибр), мм	200	400	360	277 max	170	125	120	100
Количество каналов в блоке	4	4	4	4	6	2	2	2
Максимальные нагрузки на канал, Н·м	30	50	150	30	30	2	1,2	1,2
Полоса рабочих частот, Гц	25	10	20	20	35	25	25	25
Диапазон рабочих углов, °	±36	±22	±30	±20	±30	±20	±18	±18
Угловые скорости рулей, °/с	350	250	360	150	450	2000	2000	2000
Время работы, с	60	300	180	300	30	20	20	20
Средняя мощность потребления на канал, Вт	70	210	390	50	200	10	7	7
Напряжение питания, В	45	27	54	27	54	27	27	27
Тип ИД	ДПР-62	ЭМУ-3	МИК-2	ДПР-72	МИК-1	ЭМУ-4	ЭМУ-4	ЭМУ-5
Масса ИД, г	410	750	600	600	350	125	125	70
Длина блока, мм	180	244	400	297	300	110	121	121
Масса, кг	7,6	25	22	21	10	1	1,2	1,3
Мощность использования ИД, Вт/кг	170	280	650	83	570	80	80	100
$P_{инд}$, Дж/кг	10240	84000	117000	25000	17140	1600	1120	2000
$P_{ск}$, Н*м/кг	16	8	25	6	18	4	2	1,8

Обозначения: ИД – исполнительный двигатель; $P_{инд}$ – показатель использования массы ИД; $P_{ск}$ – показатель совершенства конструкции.

Учитывая, что часть потреблённой энергии, определяемая коэффициентом полезного действия, теряется в виде активных потерь на нагрев двигателя, этот показатель позволяет косвенно оценить степень его тепловой нагрузки. Прямой оценкой тепловой нагрузки ИД является температура его обмоток, которая прямо связана с энергией потерь на активном сопротивлении проводов. Предельно допустимая температура проводов является ограничивающим фактором по тепловой нагрузке ИД.

Часто используемые при оценке приводной техники показатели, основанные на удельной мощности не удобны в нашем случае, поскольку рулевые приводы ракет являются устройствами кратковременного действия. Даже большая мощность, действующая краткое время может не привести к существенному нагреву ИД. То есть, удельные показатели, основанные на удельной мощности, не дают представления о тепловой нагрузке ИД. При этом уместно ожидать, что для достижения близких показателей использования ИД мощность на него долж-

на быть тем выше, чем короче время работы привода. Мощности использования ИД рассматриваемых ЭРП также приведены в табл. 2.

Как указано в табл. 2, в приводах №1 и №4 применяются двигатели известной серии ДПР с полым якорем, предназначенные для работы в устройствах автоматики. Эти двигатели обладают неплохими характеристиками, однако недостаточная перегрузочная способность из-за малой прочности полого якоря и низкие их удельные характеристики, о которых свидетельствуют представленные в табл. 2 сравнительно невысокие достигнутые в образцах показатели, заставили перейти к применению специальных электродвигателей.

В приводах №3 и №5 применяются специально для этих приводов созданные быстродействующие электродвигатели постоянного тока серий МИК (коллекторные), которые обладают большой удельной мощностью и предназначены для работы в кратковременных режимах, соответствующих режимам работы летательного аппарата.

Применение этих двигателей позволяет достичь высоких удельных характеристик, о чём свидетельствуют приведенные в табл. 2 высокие показатели качества этих приводов. Как цель проектирования ставилось достижение максимальных удельных характеристик. В связи с этим особое внимание уделялось вопросам теплового проектирования, применялись специальные меры обеспечения высокой нагрузочной способности. Этому способствовали и особая конструкция двигателей с гладким якорем, и выбор проводов обмоток с высокой термостойкостью изоляции.

Привод №3 имеет самые высокие среди всех рассматриваемых образцов показатели качества. Показатель использования массы ИД для него составил 117000 Дж/кг, а показатель совершенства конструкции – 25 Нм/кг. Мощность использования ИД также наибольшая - 650 Вт/кг. При этом, естественно, привод выдерживает все заданные нагрузки, не перегревается и не ломается.

По отношению к достигнутому в этом приводе уровню качества, как к наилучшему, может быть оценен уровень качества других приводов.

Напомним, что рассмотренные выше приводы №1...№5 не являются резонансными.

В резонансных приводах №6, №7 и №8 применены быстродействующие безколлекторные ИД серии ЭМУ. Посмотрим, каковы же достигнутые в них показатели.

Как видим из табл. 2, имеет место огромное различие в показателях качества приводов № 6, 7, 8 по отношению к приводам № 3 и 5. Показатель использования массы исполнительного двигателя лучшего из резонансных приводов - привода №8 составил всего 2000 Дж/кг, а показатель совершенства конструкции – 1,8 Нм/кг, что хуже показателей качества привода №3 в 58 раз и в 14 раз соответственно. Мощность использования ИД составляет всего 100 Вт/кг, что в 6,5 раз меньше, чем у привода №3 при меньшем в 9 раз времени его работы.

Вопреки ожиданиям, удельные характеристики использования исполнительных двигателей у рассматриваемых резонансных приводов значительно хуже. Это свидетельствует о том, что для того количества энергии, которое преобразовывается в этих приводах масса ИД завышена. С этой задачей может справиться двигатель значительно меньшей массы и габаритов. Вместе с этим завышена и масса конструкции блока, которая должна обладать достаточной прочностью и устойчивостью при воздействии механических нагрузок, о чём свидетельствует низкий показатель совершенства конструкции.

При этом потребная мощность исполнительного двигателя в этих приводах относительно невелика за счёт работы в резонансном режиме. Кроме того, время их работы на порядок меньше, чем приводов

больших калибров, а потому можно использовать двигатель меньшей номинальной мощности с соответствующим ростом коэффициента форсирования по мощности.

Логично предположить, что из-за меньшего времени работы и большей возможности форсирования, а также за счёт резонансного режима работы масса исполнительного двигателя может быть уменьшена до такой степени, что показатель использования ИД, по меньшей мере, приблизится к значению показателя для привода №3. Вместе с этим улучшится и показатель совершенства конструкции.

Вывод

На основе проведенного анализа показателей качества можно сделать вывод о том, что масса существующих рассмотренных образцов резонансных рулевых приводов избыточна и может быть в значительной степени уменьшена.

Заключение

Для более точной оценки неиспользованного резерва и достижимого уровня удельных характеристик резонансных приводов необходимо на основе построения тепловой модели ИД резонансного ЭРП исследовать вопрос его загруженности в реализованном приводе. Затем, на примере моделирования рулевого привода с ИД, обладающим предельно допустимыми и достаточными для выполнения полётной задачи характеристиками, определить предельно достижимые удельные характеристики привода. В этом направлении будут проводиться дальнейшие работы по теме.

Литература

1. Динамика следящих приводов: учеб. пособие для вузов [Текст] / Б.И. Петров, В.А. Полковников, Л.В. Рабинович [и др.]; под ред. Л.В. Рабиновича. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. - 496 с.
2. Полковников, В.А. Расчёт основных параметров исполнительных механизмов следящих приводов летательных аппаратов [Текст] / В.А. Полковников, А.В. Сергеев. - М.: Машиностроение, 1988. - 189 с.
3. Крымов, Б.Г. Исполнительные устройства систем управления летательными аппаратами [Текст]: учеб. пособие для вузов / Б.Г. Крымов, Л.В. Рабинович, В.Г. Стеблецов. - М.: Машиностроение, 1987. - 264 с.
4. Костин, С.В. Рулевые приводы [Текст] / С.В. Костин, Б.И. Петров, Н.С. Гамынин. - М.: Машиностроение, 1973. - 204 с.

5. Пневмопривод систем управления летательных аппаратов [Текст]//Производственно - практическое издание; ред. В.А. Чащин. - М.: Машиностроение, 1987. – 246 с.

6. Полковников, В.А. Предельные динамические возможности следящих приводов летательных аппаратов: основы теории: анализ и синтез [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / В.А. Полковников. - М.: Изд-во МАИ, 1995. – 317 с.

7. Автоколебательный рулевой привод вращающейся по крену управляемой ракеты [Текст]: пат. 2184926 Рос. Федерация : МПК⁷ F 42 В 15/01, В 64 С 13/36 / Фимушкин В.С.; Гусев А.В.; Тоинов Ф.Ф.; Рогов С.Г.; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие "Конструкторское бюро приборостроения". - № 2000110672/02; заявл. 25.04.00 ; опубл. 10.07.02.

8. Следящий электрический рулевой привод [Текст]: пат. 73793 Украина : МПК⁷ F 42 В 15/01 /

Яковенко П.А.; Доценко Б.И.; Кузьмин В.П.; Шепелев Ю.И.; Эглит Н.А.; Бондарчук П.С.; Химич С.И.; заявитель и патентообладатель Государственное предприятие "Государственное Киевское конструкторское бюро "Луч". - №2003032013 ; заявл. 06.03.03 ; опубл. 15.09.05 Бюл. № 9.

9. Способ управления летательным аппаратом [Текст]: пат. 32455 Украина : МПК⁷ F 41 G 7/00, F 41 G 7/24 / Семёнов Л.А.; Доценко Б.И.; Яковенко П.А.; Кузьмин В.П.; Шепелев Ю.И.; Королёв А.Н.; Бондарчук П.С.; Косовенко Е.В.; заявитель и патентообладатель ООО "Новая Интернациональная корпорация". - №98073706; заявл. 10.07.98; опубл. 15.12.00 Бюл. № 7.

10. Шепелев, Ю.И. Оптимизация выбора передаточного отношения редуктора электрического рулевого привода [Текст] / Ю.И. Шепелев // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – К., 2007. - № 1. - С. 31 – 33.

Поступила в редакцию 24.03.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., главный конструктор А.В. Молодык, Научно-производственный комплекс №3 казённого предприятия специального приборостроения «Арсенал», Киев.

РЕЗОНАНСНИЙ КЕРМОВИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИВОД, НИНІШНІЙ СТАН І АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

П.С. Бондарчук

Проведено кількісний аналіз впливу маси складових частин протитанкових ракет на їхню стартову масу, що дозволяє оцінити очікуваний вииграш від зниження маси конструкції складових частин ракет зазначеного класу. Дано поняття про резонансний кермовий електричний привод обертових по крену керованих ракет і снарядів. Проведено порівняльний аналіз технічного рівня на основі показників якості і вказана можливість підвищення питомих характеристик зазначених приводів.

Ключові слова: резонансний кермовий електричний привод, виконавчий двигун, питомі характеристики.

RESONANT STEERING ELCTRIC DRIVE. STATE-OF-THE-ART AND ANALYSIS OF QUALITY INDICES

P.S. Bondarchuk

The paper is devoted to analysis of the impact of antitank missile component parts' mass on the missile starting mass, which helps estimate the expected advantages of diminishing the mass of components comprising this type of missiles. The author introduces the concept of 'resonant steering electric drive' of the controlled missiles and projectiles having rotation in their list. The work includes comparative analysis of technical level of present-day prototypes of electric steering drive modules based on proper quality indices, and offers some ways how to improve specific characteristics inherent in resonant steering electric drives.

Key words: resonant steering electric drive, actuating motor, specific characteristics.

Бондарчук Павел Степанович – ведущий инженер научно-производственного комплекса №3 казённого предприятия специального приборостроения «Арсенал», Киев, Украина, e-mail: bondpav@gmail.com.