

## **ГИРОСКОПЫ**

УДК 531.383

### **РАЗРАБОТКА БОРТОВЫХ ГИРОСКОПОВ ПРОТИВОТАНКОВЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СНАРЯДОВ**

В.И. Бабичев, М.В. Грязев

*Рассмотрены бортовые гироскопы противотанковых ракет и комплексов артиллерийского управляемого вооружения. Показано, что на основе малогабаритной элементной базы для измерения параметров движения снаряда и высокопроизводительного решения сложных навигационных задач реальной становится задача построения системы вывода снаряда в район цели по сигналам с бортового блока спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС, комплексированного блоком инерциальных чувствительных элементов.*

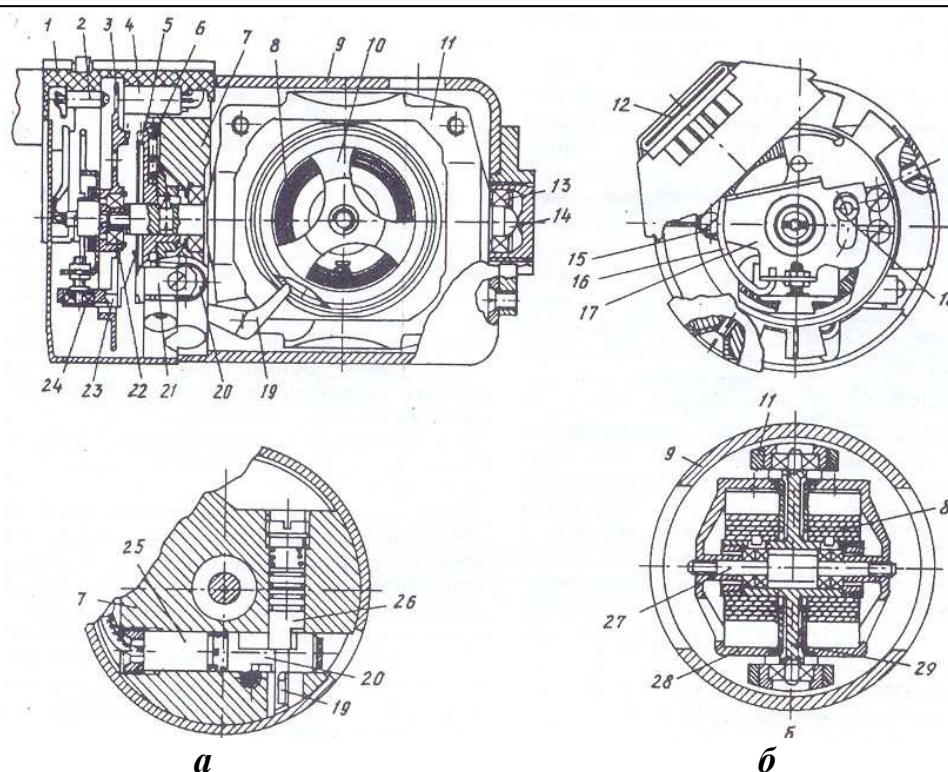
*Ключевые слова: противотанковые ракеты, комплексы артиллерийского управляемого вооружения, пороховые и пружинные гироскопы, лазерная полуактивная головка самонаведения, бортовой блок спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС, блок инерциальных чувствительных элементов, инерциальная система наведения.*

Гироскоп 9Б861, установленный на противотанковых ракетах «Фэгот» и «Конкурс» [1], был первым образцом в истории противотанковых ракет, изготавливаемых АО «КБП».

Начиная с 1980 г. в АО «КБП» начался новый этап по разработке бортовых гироскопов. На рис. 1 представлена конструкция гироскопа 9Б861 для противотанкового снаряда, уже снятого с производства.

Отличительными чертами гироскопа 9Б861 являются:

- пружинный ротор;
- бесконтактный оптронный датчик;
- маятниковое устройство, подключающее оптронный датчик.



**Рис. 1. Бортовой гироскоп 9Б861:**

*а, б – сечения по осям защелки и ротора соответственно; 1 – датчик; 2 – светодиод; 3 – растр; 4 – фотодиод; 5 – муфта; 6, 8, 16 – пружины; 7 – основание; 9 – корпус; 10 – ГМ; 11, 29 – наружная и внутренняя рамки; 12 – ленточный плоский провод; 13, 22, 24 – подшипники; 14 – подпятник; 15 – ось; 17 – опора; 18 – упор; 19 – рычаг; 20 – защелка; 21 – зацеп; 23 – груз; 25 – пиротехнический толкатель; 26 – демпфер; 27 – вал ротора; 28 – обод ротора*

Аналогов подобного гироскопа на указанный момент не существовало.

Сравнительные характеристики порохового и пружинного гироскопов представлены в табл. 1. Как следует из табл. 1, по основным характеристикам пружинный гироскоп превосходит пороховой.

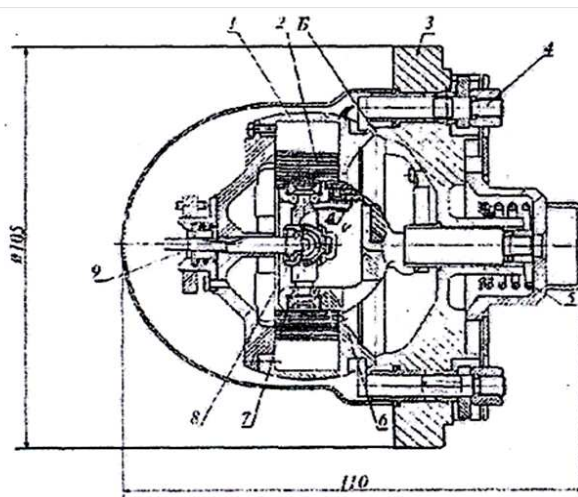
**Таблица 1**

**Сравнительные характеристики порохового и пружинного гироскопов**

Характеристика	Пороховой 9Б827	Пружинный 9Б861
1	2	3
Тип датчика	Контактный, ламельно-резисторный	Бесконтактный, оптронный
Способ разгона ГМ	Реактивный на пороховом газе совмещенного типа	Пружинный совмещенного типа

1	2	3
Тип КП	Внешний, рамочный	Комбинированный, рамочный
Тип арретира	«Винт-гайка», разарретирование при вращении ротора	«Рычаг-стержневая защелка», пиротехнический толкатель
Допустимая перегрузка по оси наружной рамки, ед.	3500	5500
Максимальный уход наружной рамки за 20 с	$\pm 3,5^\circ$	$\pm 5^\circ$
Минимальное время складывания рамок, с	28	40
Проектная трудоемкость изготовления в серийном производстве, ч	18	12,5
Масса ГК, г	380	230
Габаритные размеры, мм	$\varnothing 59 \times 85$	$\varnothing 40 \times 70$
Год разработки	1978	1992

Второй вариант гироскопа представлен на рис. 2. Данный вариант гироскопа (гироскоп направления) применялся в артиллерийском управляемом снаряде «Краснополь», снятом с производства [2].



**Рис. 2. Бортовой гироскоп для УАС «Краснополь»:**  
**1 – ротор; 2 – заводная пружина; 3 – основание; 4 – зацепы;**  
**5 – пружина; 6 – корпус; 7 – ось наружной рамки; 8 – барабан;**  
**9 – ось внутренней рамки**

Гироскоп направления выдерживает перегрузку в 10 000 ед. Ось 9 собственного вращения ротора смонтирована в скоростных подшипниках, являющихся кинематическим аналогом внутренней рамки карданова подвеса. Кардановый подвес обеспечивает ротору углы прокачки по вертикали до 50°.

Рассмотрим вариант лазерной полуактивной головки самонаведения для снаряда «Краснополь». На рис. 3 представлена рассматриваемая головка самонаведения. Общее количество наименований элементов электронной аппаратуры превысило 2000, а занимаемый ими объем равен 1,2 л.



**Рис. 3. Лазерная полуактивная головка самонаведения для УАС «Краснополь»**

Далее перейдем от старых конструкций гироскопов к новым, современным образцам.

**Противотанковые комплексы вооружения.** По противотанковым управляемым снарядам рассмотрим характеристики существующих и модернизированных образцов. Сравним гироскопы комплекса «Корнет-Э» (существующий вариант) и модернизированный вариант (комплекс «Корнет-В») (табл. 2).

**Таблица 2**

**Характеристики комплексов**

Характеристики образца	«Корнет-Э»	«Корнет-В»
Дальность стрельбы, км	5,5	8,0
Максимальный уход наружной рамки гироскопа, град	± 7	± 8
Минимальное время работы гироскопа, с	25	40
Усовершенствованный вариант гироскопа	Нет	Имеется

Модернизация гироскопа комплекса «Корнет-Э» касается оптимизации параметров, например, балансировки роторов, уточнения инерционных масс рамок гироскопа и пр. С учетом модернизации существующая конструкция пружинного гироскопа может применяться для будущих противотанковых снарядов.

**Комплексы управляемого артиллерийского вооружения.** Рассмотрим комплексы артиллерийского управляемого вооружения. Здесь следует выделить комплекс «Краснополь-М2» совместно с носимой системой управления огнем «Малахит». Состав указанного комплекса представлен на рис. 4 [3].



**Рис. 4. Состав комплекса «Краснополь-М2»**

Сравнение характеристик УАС «Копперхед», «Краснополь» и «Краснополь-М2» дают преимущества комплексу «Краснополь-М2», что видно из табл. 3. Что же касается гироскопа направления для УАС «Краснополь-М2», то он модернизирован в части уменьшения габаритно-массовых характеристик, установки нового арретирующего устройства и введения бесконтактного оптического датчика.

**Таблица 3**

**Сравнение характеристик УАС «Копперхед», «Краснополь» и «Краснополь-М2»**

Характеристики	УАС «Копперхед» (США)	УАС «Краснополь» (Россия)	УАС «Краснополь-М2» (Россия)
1	2	3	4
Масса снаряда, кг	62,6	51,3	54,3
Длина снаряда, мм	1370	1300	1200

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Дальность стрельбы, км	15...16	19...20	24...26
Масса БЧ/ВВ, кг	22,5/6,7	20,5/6,3	26,5/11,0
Тип БЧ	Кумулятивно-осколочная	Осколочно-фугасная	
Поражаемые цели	Бронетанковая техника	Бронетанковая техника и инженерные сооружения	
Раскрытие рулей	Одновременно всех четырех		Одновременное или попарное в соответствии с заданной циклограммой
Способ ввода циклограммы в снаряд	Вручную		Автоматизированный
Наличие активного демпфирования планера	Отсутствует		Имеется на основе микромеханических гироскопов
Характер попадания в цель	В точку подсвета	В верхнюю проекцию цели	

За рубежом отсутствуют снаряды, подобные снаряду «Краснополь», а образец, подобный УАС «Краснополь-М2», не планировался и не планируется к разработке [4].

**Перспективные комплексы управляемого артиллерийского вооружения.** Анализ тактико-технических требований к современному вооружению, опыт применения УАС «Краснополь-М2» в различных условиях позволили выработать ряд требований, направленных на дальнейшее совершенствование комплексов управляемого артиллерийского вооружения. Основными из этих требований являются:

- повышение дальности стрельбы управляемыми боеприпасами в 1,5 – 2 раза;
- обеспечение стрельбы в сложных рельефных и метеорологических условиях, в том числе при низкой облачности.

Обеспечить указанные требования на базе даже комплекса «Краснополь-М2», используемой в управляемых артиллерийских снарядах второго поколения, не представляется возможным. Действительно, для вывода разработанных в АО «КБП» снарядов типа «Краснополь-М2» в район

захвата цели головкой самонаведения используется система наведения на базе механического гироскопа. Указанный способ наведения обеспечивается разарретированием гироскопа в момент нахождения снаряда около вершины траектории. При таком наведении обеспечивается компенсация силы тяжести, в результате чего снаряд движется к цели по траектории с постоянным углом наклона к земной поверхности. Но даже при использовании указанных траекторий из-за уходов гироскопа такая система наведения может обеспечить приемлемую вероятность захвата цели лишь до дальности 20...25 км [5].

С учетом появления в последние годы как за рубежом, так и в России малогабаритной элементной базы для измерения параметров движения снаряда и высокопроизводительного решения сложных навигационных задач реальной становится задача построения системы вывода снаряда в район цели по сигналам с бортового блока спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС, комплексированного блоком инерциальных чувствительных элементов. Такая система позволяет избежать ограничений, связанных с выводом снаряда в район цели при стрельбе на большие дальности.

Применение системы вывода снаряда в район цели по сигналам с бортового блока спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС и блока инерциальных чувствительных элементов позволит [5]:

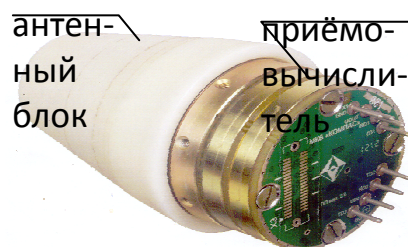
- повысить дальность стрельбы за счет использования на участке наведения в район цели оптимальных траекторий наведения;
- при использовании приемного блока спутниковой навигационной системы обеспечить достаточно высокую точность наведения;
- формировать траектории наведения с «нырком бод облака» и тем самым снять ограничения систем с лазерным полуактивным самонаведением, связанные с наличием облачности.

**Состав перспективного комплекса управляемого артиллерийского вооружения.** Для обеспечения принципа действия вышеуказанного комплекса управляемого вооружения требуются следующие комплектующие блоки:

- навигационная аппаратура GPS/ГЛОНАСС;
- подсистема инерциального наведения;
- лазерная полуактивная головка самонаведения или радиолокационная.

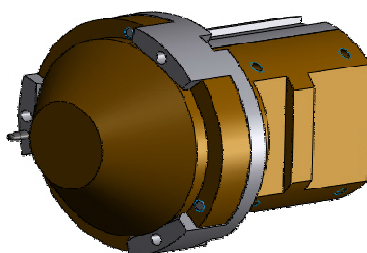
Навигационная аппаратура GPS/ГЛОНАСС (рис. 5) предназначена для определения пространственных координат и скоростей снаряда в полете по сигналам навигационных космических аппаратов GPS/ГЛОНАСС, она решает навигационную задачу – определяет текущий вектор состояния снаряда, формирует и выдает в аппаратуру снаряда значения вычисленных кинематических параметров.





**Рис. 5. Блок навигационной аппаратуры**

Подсистема инерциального наведения (рис. 6) разработана на базе блока инерциальных чувствительных элементов. Технические характеристики микромеханических преобразователей и датчиков соответствуют отечественным аналогам. Таким образом, подсистема инерциального наведения заменяет механический гироскоп направления. Конструктивно три магнитометрических датчика и микропроцессор установлены на плате контроллера. Преобразователи угловой скорости и линейного ускорения выполнены в едином металлокерамическом корпусе.



**Рис. 6. Блок инерциальных чувствительных элементов**

В части лазерной полуактивной головки самонаведения усовершенствованных артиллерийских управляемых снарядов уменьшение ее габаритов произошло за счет уменьшения габаритов и объемов электронной аппаратуры (рис.7).



**Рис. 7. Сравнение различных вариантов ЛПГС:  
а – ЛП ГСН и АЭ УАС «Краснополь»;  
б – ЛП ГСН и АЭ УАС «Краснополь-М2»**



Для обеспечения функционирования модернизированной головки самонаведения применен метод «демодуляции – модуляции» [5].

УАС «Краснополь-Д». Примером высокоточного боеприпаса для стрельбы на большие дальности может служить снаряд «Краснополь-Д», характеристики которого представлены в табл. 4, здесь же для сравнения приведены характеристики УАС «Краснополь-М2»[6].

**Таблица 4**

**Характеристики УАС «Краснополь-Д» и «Краснополь-М2»**

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	УАС «Краснополь-Д»	УАС «Краснополь-М2»
Длина снаряда, мм	1300	1200
Масса снаряда, кг	53	54,3
Тип боевой части	Осколочно-фугасная	
Масса БЧ/ВВ, кг	20/8	26,5/11,0
Система наведения: - на среднем участке траектории; - на конечном участке траектории	Инерциальное+спутниковое Самонаведение	Инерциальное Самонаведение
Тип ГСН	Лазерная полуактивная	
Максимальная дальность стрельбы, км	43	26
Время работы снаряда, с	140	60
Вероятность прямого попадания в цель типа «танк»	0,8 – 0,9	0,8 – 0,9
Частота применения	0,70 – 0,80	0,6 – 0,7

Комплексное применение в УАС «Краснополь-Д» современных достижений в области инерциальной спутниковой системы наведения управляемых снарядов в совокупности с самонаведением на конечном участке траектории обеспечивает выполнение требований по дальности стрельбы артиллерийскими комплексами и высокоточное попадание в подвижные и неподвижные цели.

Таким образом, сопоставив снятые с производства, имеющиеся в наличии и перспективные бортовые гироскопы, можем сделать вывод, что инерциальная система наведения артиллерийских снарядов при выполнении современных требований к гироскопическим приборам может обеспечить требования по дальности стрельбы и высокоточные попадания в цель.

Противотанковые комплексы могут базироваться на модернизированных решениях по гироскопическим приборам.

### Список литературы

1. Бабичев В.И., Горин В.И. Особенности конструкций гироскопов // Оборонная техника. 1994. № 5–6. С. 13-17.
2. Бортовые приборы вращающихся по крену летательных аппаратов / В.И. Бабичев, В.И. Горин, В.Д. Дудка, В.В. Кирилин, Д.М. Малютин, В.Я. Распопов, В.Я. Филимонов // Гироскопия и навигация. 2007. № 1(56). С. 36-46.
3. Бабичев В.И. Артиллерийское ВТО в России и за рубежом // Вооружение. Политика. Конверсия. 2007. № 4. С. 16-21.
4. Бабичев В.И., Рабинович В.И. «Краснополь-М2» – высокоточный комплекс нового поколения // Военный парад. 2009. № 1. С. 36-39.
5. Состояние и развитие высокоточного оружия Сухопутных войск РФ / В.И. Бабичев, М.В. Грязев, А.В. Игнатов, В.П. Танаев, А.В. Шигин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти В.П. Грязева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. С. 31-42.
6. Настоящее и будущее комплексов артиллерийского вооружения калибров 120/122, 130 и 152/155 мм / В.И. Бабичев [и др.]. Тула: Изд-во ТулГУ. 2017. 355 с.

*Бабичев Виктор Ильич, д-р техн. наук, проф., гл. конструктор направления, [rector@tsu.tula.ru](mailto:rector@tsu.tula.ru), Россия, Тула, АО «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова»,*

*Грязев Михаил Васильевич, д-р техн. наук, проф., ректор, [rector@tsu.tula.ru](mailto:rector@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### *ON-BOARD GYROSCOPES WITH ANTITANK AND ARTILLERY GUIDED PROJECTILES*

*V.I. Babichev, M.V. Gryazev*

*The article deals with on-board gyroscopes used with antitank missiles and artillery guided weapons. It shows that small-size elements approach to measuring projectile flight parameters and solution of sophisticated navigation tasks with high efficiency makes it real to bring a projectile to a target area by the signals generated by the on-board GPS/GLONASS terminal integrated with the inertial sensors unit.*

*Key words: antitank missiles, artillery guided weapons, solid-propellant and spring-loaded gyroscopes, laser semi-active seeker, on-board GPS/GLONASS terminal, inertial sensors unit, inertial guidance system.*

*Babichev Victor Ilyich, doctor of technical sciences, professor, chief designer, [rector@tsu.tula.ru](mailto:rector@tsu.tula.ru), Russia, Tula, JSC «KBP named after Academician A. Shipunov»,*

УДК 531.383

## **О СВОЙСТВАХ ДВИЖЕНИЙ СИММЕТРИЧНОГО ГИРОСКОПА ЭЙЛЕРА ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ УГЛОВ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ПУАССОНА**

П.К. Плотников

*Показано, что регулярная прецессия в симметричном гироскопе Эйлера не является единственным видом движения, а соответствует только общеизвестным согласованным между собой начальным углам Эйлера. При любых других начальных углах возникают движения, отличающиеся от регулярной прецессии. Получены также решения в углах Эйлера–Крылова. В частности, найдены условия («сильный удар»), когда нерегулярная прецессия симметричного гироскопа Эйлера в углах Эйлера–Крылова происходит в направлении действия вращательного импульса, а знак угловой скорости собственного вращения меняется на обратный. Аналитические результаты подкреплены математическим моделированием.*

*Ключевые слова: симметричный гироскоп Эйлера, прецессия, углы Эйлера, уравнения Пуассона, вращение, математическое моделирование, нутация, углы Эйлера–Крылова, угловая скорость, удар, дрейф.*

**Постановка задачи.** Решение задачи о движении по инерции симметричного гироскопа Эйлера (СГЭ) хорошо известно и изложено во многих трудах, в частности, в [1–3]. Это движение является регулярной прецессией, характеризуемой постоянным углом нутации между осью кинетического момента, совмещённой с осью инерциального базиса, и осью собственного вращения СГЭ. При этом угловые скорости прецессии и нутации постоянны.

Указанные свойства нашли применение в [4] в процессе подготовки эксперимента по проверке общей теории относительности с применением СГЭ и телескопа на ИСЗ при решении вопроса о выборе соотношений между главными моментами инерции, обеспечивающих очень малые угловые скорости прецессии. В эксперименте [5, 6] угловые скорости дрейфов составили величины менее  $10^{-11}$  угл. град/час, что обеспечило с погрешностью менее 1 % справедливость теории Эйнштейна.