

*А.Г. Шипунов,
Герой Социалистического Труда,
академик РАН и РАРАН*

В. Я. РАСПОПОВ

БОРТОВЫЕ ГИРОПРИБОРЫ. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Статья посвящена истории разработок бортовых гиросприборов для ракет комплексов управляемого вооружения, созданных в Туле. К бортовым гиросприборам относят измерители текущего углового положения ракет, вращающихся по крену, называемые гироскопическими раскладчиками команд, и измерители углов курса и тангажа – гироскопы направления. Рассмотрены основные задачи, решаемые при разработке бортовых гиросприборов, особенности их конструкции и технические характеристики.

Ключевые слова: ракета, управляемый артиллерийский снаряд, гироскоординатор, гироскоп направления, импульсный гироскоп.

Введение

Начало гироскопическому приборостроению в Туле было положено в ЦКБ-14, которое было основано в 1927 г. для производства стрелкового вооружения для Красной Армии. Например, знаменитый пистолет ТТ (Тульский Токарев) был разработан именно здесь. В послевоенное время ЦКБ-14 занималось выпуском авиационных пушек, а с конца 1950-х гг. – управляемых ракет.

Начальником и главным конструктором ЦКБ-14 с 1962 г. был А.Г. Шипунов (1927–2013). В 1966 г. ЦКБ-14 было переименовано в Конструкторское бюро приборостроения (КБП), в настоящее время называемое КБП имени академика А.Г. Шипунова.

В 1961 г. вышло постановление правительства СССР о конкурсе на разработку носимого (пехотного) противотанкового ракетного комплекса (ПТРК), в котором приняли участие СКБ (г. Коломна), где был разработан ПТРК «Малютка», и ЦКБ-14, создавшее ПТРК «Овод». По итогам сравнительных испытаний в 1962 г. на вооружение был принят ПТРК 9М14 «Малютка», который в СССР производился до 1984 г., в том числе на Тульском оружейном заводе (ТОЗ), а также по лицензии в 45 странах.

В гироскопе ПТРК «Малютка» ротор разгонялся гибкой лентой во время старта ракеты, а в гироскопе ПТРК «Овод» – пороховыми газами по типу реактивной турбины.

В дальнейшем гироскопы, в которых ротор практически мгновенно разгонялся за счет импульса энергии, получаемой от стартующей ракеты (ленточный гироскоп), сгорающего порохового заряда (пороховой гироскоп) или туго заведенной пружины (пружинный гироскоп), а также их гиромоторы стали называть импульсными.

Работа над комплексом «Овод» и другими изделиями того же типа позволила приобрести немалый опыт, и уже в 1963 г. под руководством Н.Ф. Макарова (1914–1988),

Распопов Владимир Яковлевич. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой приборостроения, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением». Заслуженный деятель науки РФ.

автора знаменитого пистолета ПМ, в ЦКБ-14 приступили к созданию ПТРК «Фагот». С тех пор и до настоящего времени в КБП разрабатываются прогрессивные, нередко уникальные комплексы вооружения различного применения [1, 2]. Бортовые гироскопические приборы являются важнейшим элементом системы управления ракетой.

Становление отдела гироскопической техники ЦКБ-14 и кафедры гироскопических приборов и устройств Тульского механического института

Первым начальником отдела гироскопической техники (ОГТ) в ЦКБ-14 стал С.З. Вайнберг, уроженец Москвы, участник Великой Отечественной войны, вернувшийся с фронта в звании инженера-капитана и с боевыми наградами. Он занимал этот пост до 1964 г. Отдел состоял из конструкторского подразделения, исследовательской лаборатории и макетной мастерской («макетки»). В конструкторском подразделении (его первым начальником был Г.А. Савищев) работали в основном выпускники Тульского механического института (ТМИ), а в лаборатории (первый начальник – Ю.М. Кравченко) – выпускники МВТУ им. Н.Э. Баумана, ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина) [1], ЛИТМО [3] и «Военмеха» [1] с базовым «гироскопическим» образованием и два техника. В «макетке» трудились три слесаря-сборщика, главным из которых с 1962 г. был Герой Социалистического Труда В.В. Царев (1916–1988).

Обычно разрабатывалось 2-3 гироскопических прибора – по заданию тематического отдела и в инициативном порядке, «на перспективу». Так как все ракеты ПТРК после «Овода», ракета которого стабилизировалась по крену, имели вращение и одноканальную систему управления, гироскопические приборы выполняли функцию раскладчиков команд (ГРК) из стартовой системы координат в связанную с ракетой. Ось подвеса наружной рамы ГРК, выполняемого по схеме трехстепенного гироскопа, устанавливалась параллельно продольной оси ракеты. Первоначально в качестве датчиков узла крена применялись синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы, замененные затем на ламельные, резисторные и, наконец, оптоэлектронные.

В течение более 10 лет в ГРК применялись пороховые гироскопы (ГМ), конструкцию которых предложил выпускник МВТУ Б.С. Фиолетов (1936–2007), он же выполнил и первые расчеты их характеристик. Отработка пороховых ГМ из-за присущих им таких недостатков, как прогорание сопел, засорение несгоревшими частицами порохового заряда подшипниковых узлов, а также вызываемого ими динамического разбаланса ротора велась в лаборатории постоянно.

Каждый запуск порохового ГМ сопровождался сильной загазованностью лаборатории. Сами пороховые заряды вытачивались на обычном токарном станке из длинных артиллерийских «макаронин» из пороха. Случались и ЧП, на которые тогда по молодости лет обращали мало внимания, а положенное «за вредность» молоко воспринималось как награда. Только после переезда в 1965 г. КБП в Щегловскую засеку с территории Машзавода, где изначально располагалось ЦКБ-14, ОГТ получил специально оборудованную «огневую» лабораторию.

Первые расчеты точности ГРК выполнил выпускник ЛЭТИ Л.А. Карпов. В дальнейшем методы расчета точности постоянно совершенствовались с учетом особенностей динамики полета ракеты и верифицированных математических моделей. При этом точность определялась как разворот (уход) наружной рамы карданового подвеса по отношению к ее первоначальному положению в заарретированном состоянии ГРК за определенное время.

Работоспособность ГРК характеризуется временем «складывания рам», в течение которого гиروزел прецессирует на конструктивно ограниченный угол и «ложится» на упоры, то есть соприкасается с наружной рамой карданова подвеса. Гироскоп теряет устойчивость, становится неработоспособным.

В 1964 г. специально для определения точности разрабатываемых ГРК как интегрированной оценки их качества были произведены телеметрические пуски ракет [3]. Методика определения ухода гироскопа была простой и эффективной. На концах хвостового оперения ракеты устанавливали импульсные лампы, которые вспыхивали при каждом обороте ракеты, определяемом по сигналу гироскопа, с помощью контактного кольцевого замыкателя. Последовательные вспышки фиксировались двумя фототео-долитами, оптические оси которых выставлялись параллельно направляющим пусковой установки. Старт ракеты осуществлялся под углом 70° к горизонту. Испытания проводились ночью. На рис. 1 приведен отпечаток с одной из двух парных фотопластинок зачетного пуска. Третья пара вспышек соответствует высоте 1500 м.



Рис. 1. К определению ухода ГРК (сплошная светлая линия – след от работающего ракетного двигателя, остальное – следы от несгоревших частиц ракетного порохового топлива)

Обработка фотопластинок выполнялась на стереокомпараторе с погрешностью определения координат центров вспышек 0,02 мм. Уходы ГРК в зачетных пусках на высоте 1500 м не превышали 5° , что соответствовало расчетам. В дальнейшем подобные испытания не проводились, а качество ГРК оценивалось по результатам испытаний ракеты в комплексе.

В 1961 г. в ТМИ была образована кафедра гироскопических приборов и устройств (ГПиУ), в настоящее время это кафедра приборов управления Тульского государственного университета (ТулГУ). В 1965 г. состоялся первый выпуск инженеров по этой специальности. Среди них был В.И. Горин (1937–2021), позднее внесший существенный вклад в разработку бортовых гиросприборов в БП [4].

Первым заведующим кафедрой стал один из ее основателей – участник ВОВ А.Я. Шайденко (1919–1993), который в качестве основного направления научно-технических разработок определил гиросtabilизаторы для морских применений. Под его научным руководством были сконструированы три модели силовых гиросtabilизаторов, выпускавшиеся малыми сериями экспериментально-производственными мастерскими уже к тому времени Политехнического института, и несколько типов измерительных гироскопических систем для гидрографических и океанографических работ.

Сотрудничество кафедры и ОГТ КБП в области бортовых гироскопов началось в 1967 г.

Разработка гироскопических раскладчиков команд и гироскопов направления

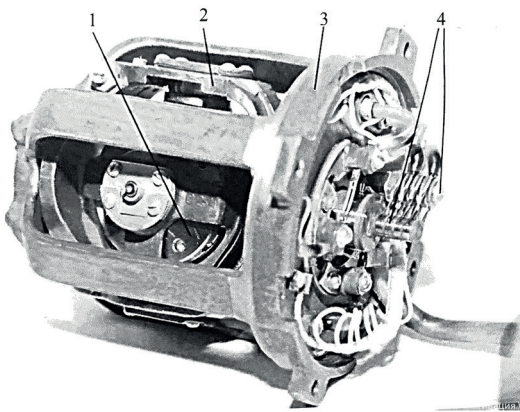


Рис. 2. ГРК 9Б61:

- 1 – пороховой ГМ во внутренней раме (гироузел),
- 2 – наружная рама карданова подвеса,
- 3 – корпус (со снятым кожухом),
- 4 – коллектор и токосъемники ламельного датчика вращения

Более чем 10-летняя работа отдела, которым с 1964 по 1973 г. руководил Е.Б. Чекалин, по гироскопам с пороховым ГМ завершилась в 1970 г. приемкой на вооружение ГРК 9Б61 (рис. 2) в составе ПТРК «Фагот». Этот же ГРК впоследствии был применен и в ПТРК «Конкурс».

В 1970 г. в КБП началась разработка ПТРК «Конкурс», который был принят на вооружение в 1974 г. Его ракета обладала большим калибром и бронепробиваемостью, чем ракета ПТРК «Фагот», но система управления и гироскоп 9Б61 оставались прежними. Пороховой гироскоп при габаритах $\Phi 62 \times 85$ мм имел массу 300 г и время складывания рам не менее 30 с при продольной перегрузке ракеты в 1000 единиц.

В ракетах комплексов «Фагот» и «Конкурс» для старта ракет используется контейнерный запуск. Ракета располагается в контейнере на направляющих, обеспечивающих ее ориентацию относительно контейнера.

В 1981 г. был создан ПТРК «Кастет» с ГРК 9Б827. Особенность этого комплекса заключается в том, что ракета стартует из ствола пушки или танка, в котором ракета с гироскопом занимает произвольное положение относительно местной вертикали (ствольный запуск). В ГРК 9Б827 было применено маятниковое устройство, с помощью которого датчик угла гироскопа выставлялся по линии местной вертикали. При выстреливании ракеты маятник отсоединялся от гироскопа.

Результаты исследования маятниковых ориентаторов позже были опубликованы [6].

Характеристики ГРК 9Б827 и 9Б175, примененного в ПТРК «Рефлекс», приведены в табл. 1. ГРК 9Б175 был последней разработкой гироскопов с пороховым ГМ.

К этому времени все более очевидной становилась необходимость замены в ГРК пороховых ГМ пружинными по следующим причинам: отсутствие загрязнения прибора продуктами горения порохового заряда, а также температурных перепадов

и, как следствие, постоянство конструктивных размеров и технологических параметров, повышение надежности прибора за счет возможности проверки его работы в процессе сборки и регулировки.

Таблица 1

Характеристики ГРК ПТРК «Кастет» и «Рефлекс»

Характеристика	Тип и значение характеристики	
	9Б827	9Б175
Тип гиromотора	пороховой	пороховой
Тип датчика угла	ламельный	оптронный
Маятниковое устройство	одинарный маятник	двойной маятник
Масса, г	380	325
Габариты, мм	Ø59×77	Ø47×89
Минимальное время складывания рам, с	25	30
Продольная, стартовая перегрузка ракеты, ед.	3000	5000

Были выполнены необходимые расчеты, предложена, вероятно, первая в СССР конструкция ГРК с пружинным ГМ [6], и проведена сравнительная оценка параметров гироскопов с различными типами гиromоторов (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная оценка параметров гироскопов с различными типами импульсных гиromоторов

Параметры гироскопа	Схема гироскопа по виду схемы запуска гиromотора			
	Разгон тросиком, лентой	Пороховой		Пружинный разгон
		Реакт. турбина	Акт. турбина	
Добротность	2,0–4,0	6,2–13,5	3,0–5,0	2,4–3,1
Время разгона ротора, с*		0,1–0,25	0,2–0,3	0,015–0,04
Максимальная перегрузка, ед.	40	5500	800	5500
Трудоемкость изготовления, норм. час**	8,0	12,0	12,5	8,0

Примечание: *соответствует времени движения ракеты по направляющей, **расчетная для крупносерийного производства.

Сотрудниками ОГТ и кафедры ПУ была разработана методика расчета пружинного ГМ [7].

Создание малогабаритных гироскопов с пружинным гиromотором стало возможным благодаря освоению производства высокопрочного сплава 40 КХНМ для пружин и обеспечению возможности их хранения в заведенном состоянии не менее 10 лет. Кроме того, была освоена технология изготовления малогабаритных элементов оптронных

датчиков, применение которых в импульсных гироскопах позволило уменьшить возмущающие моменты относительно оси подвеса карданового узла и разработать ГМ с малым кинетическим моментом.

В 1980 г. приступили к созданию ГРК с пружинным ГМ для ПТРК «Вихрь» ракеты с контейнерным запуском для вооружения штурмовой авиации, вертолетов и малых надводных кораблей. Расчетно-теоретические и экспериментальные работы по пружинному ГМ были начаты раньше. К 1985 г. был сконструирован ГРК с пружинным ГМ,

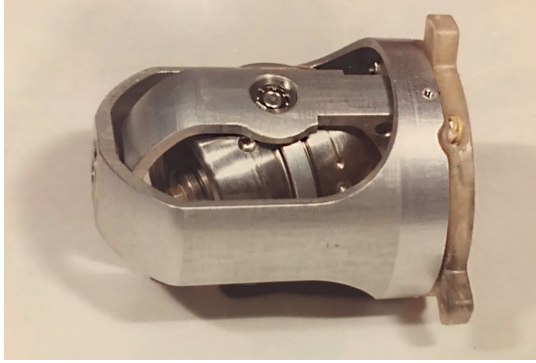


Рис. 3. ГРК (без кожуха) с двумя пружинными гиromоторами

обеспечивающим разгон ротора до 25000–30000 об./с и время складывания рам КП не менее 40 с. Прибор выдерживал 1000 единиц стартовой перегрузки и при массе 230 г имел размеры 64×85 мм. ГРК обладал также оригинальной конструкцией гиросузла с двумя ГМ и внутренней рамкой в виде диска со втулкой, внутри которой на подшипниках была установлена общая ось вращения гиromоторов (рис. 3). Об истории разработки ОГТ в 1974–1982 гг., которым в те годы руководил В.И. Бабичев, рассказывается в [8].

В 1984 г. вышло правительственное постановление о создании ПТРК «Рефлекс-М» с ракетой «Инвар», управляемой по лазерному лучу (принцип «выстрелил и забыл»). Она была принята на вооружение в начале 1990 г. Группа инженеров, в составе которой были В.И. Горин, руководивший ОГТ с 1983 по 2002 г., Н.А. Анисимова, Д.Н. Нехаев, З.П. Трегубова, разработала ГРК 9Б861. Конструкция гиросприбора была аналогична ГРК ранее выпускавшегося комплекса «Вихрь», но обладала меньшими габаритами и была оснащена маятниковым устройством выставки раstra оптоэлектронного датчика угла по вертикали места (рис. 4, а).

В 1987 г. в КБП началась разработка ПТРК «Корнет», завершившаяся в 1994 г., с ракетой увеличенной бронепробиваемости, для которой был создан ГРК 9Б865. В этом приборе пружинный ГМ, карданов подвес, арретирующее устройство и оптронный датчик угла унифицированы с ГРК 9Б861. Так как ракета комплекса была оснащена контейнерным пуском, отпала необходимость в маятниковом ориентаторе (рис. 4, б). Кроме того, были уменьшены масса и габариты ГРК, так как новая ракета имела меньшую стартовую перегрузку по сравнению с «Инваром».

Создание ГРК для комплексов вооружения нового поколения сопровождалось многообразной аналитической работой [9–11], общие результаты которой изложены в монографии [12]: приведены математические модели динамики гиросприборов с импульсным гиromотором, методики их проектирования и примеры проектировочных расчетов и для пороховых, и для пружинных ГМ.

В состав бортовой аппаратуры управления комплексами вооружения с артиллерийскими управляемыми снарядами (АУРС) входит гироскоп курса и тангажа, или гироскоп направления (ГН). Еще в конце 1960-х гг. в ОГТ и на кафедре ГПиУ приступили к исследованию возможности построения ГН с ротором, вращающимся через шарнир Гука (ШГ) [13]. В ходе работы стало ясно, что гироскоп на ШГ должен быть дополнен гиromотором, скорость вращения которого не зависит от переменной

скорости вращения выходной оси ШГ. По сути, это была уже схема гироскопа с вращающимся внутренним кардановым подвесом, широко используемая в КБП.

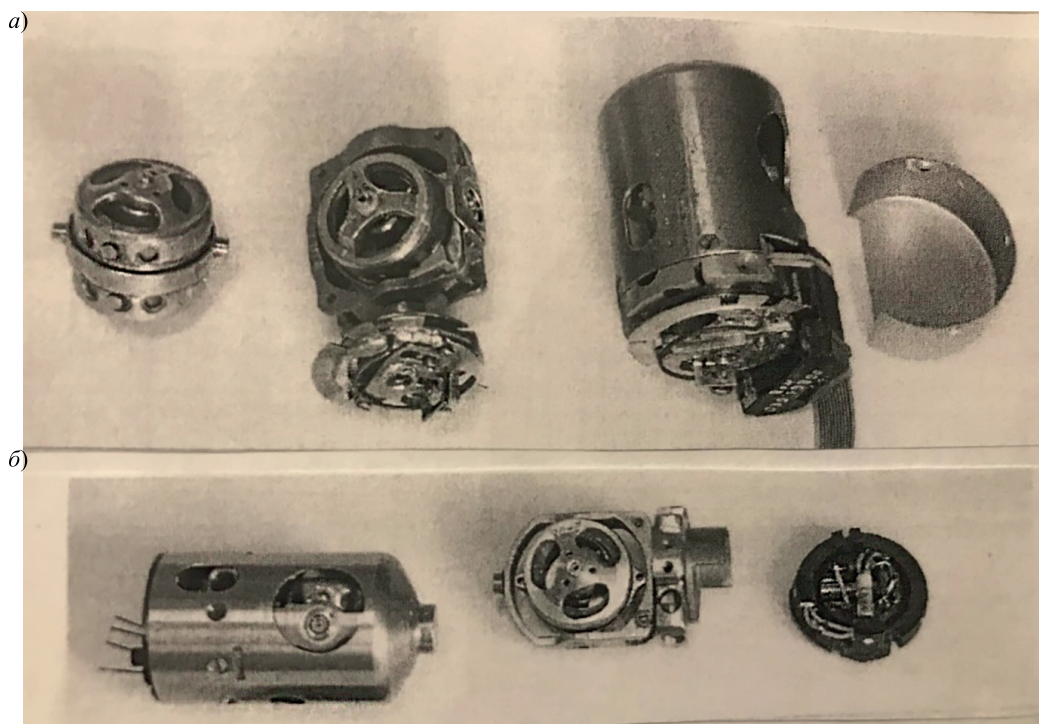


Рис. 4. ГРК 9Б861 (а) и ГРК 9Б865 (б) с конструктивными сборками

Наиболее существенное влияние на конструкцию ГН оказывает вид пуска боеприпаса. При использовании ГН в боеприпасе, выстреливаемом из ствола пушки под углом к горизонту с перегрузкой до 10000 единиц, включение системы управления, запуск пружинного ГМ и разарретирование ГН происходит вблизи вершины траектории полета. Затем полет боеприпаса продолжается по корректируемым сигналам ГН по баллистической траектории. При таком полете аппаратура управления испытывает небольшие, около двух единиц, перегрузки. Для АУРС «Краснополь», принятого на вооружение в 1985 г., был создан ГН 9Б835 (рис. 5, а) по схеме трехступенного гироскопа с внутренним кардановым подвесом, пружинным ГМ и потенциометрическими датчиками углов по осям подвеса.

Для АУРС «Китолов», принятого на вооружение в 2002 г., был сконструирован ГН 9Б891 (рис. 5, б) с уменьшенными по сравнению с ГН АУРС «Краснополь» габаритами и массой. Определяющий вклад в эту разработку внес В.И. Горин.

ГН 9Б891 при наличии углового рассогласования между вектором кинетического момента ГМ и продольной осью боеприпаса выполняет функцию ГРК и, кроме того, вырабатывает команду на рули ракеты, обеспечивающие увеличение дальности ее планирования на нисходящем участке траектории полета. Уход (дрейф) ГН в вертикальной плоскости – не более 0,15 град/с, а в горизонтальной – не более 0,1 град/с.

Для перспективного высокодинамичного АУРС был разработан ГН по схеме трехступенного гироскопа с внутренним кардановым подвесом, через который при разгоне посредством разгонной муфты передается вращающий момент от порохо-

вой реактивной турбины, построенной на основе порохового ГМ (рис. 6). После разгона происходит разъединение гироскопа и разгонной турбины и ротор вращается на выбеге [14].

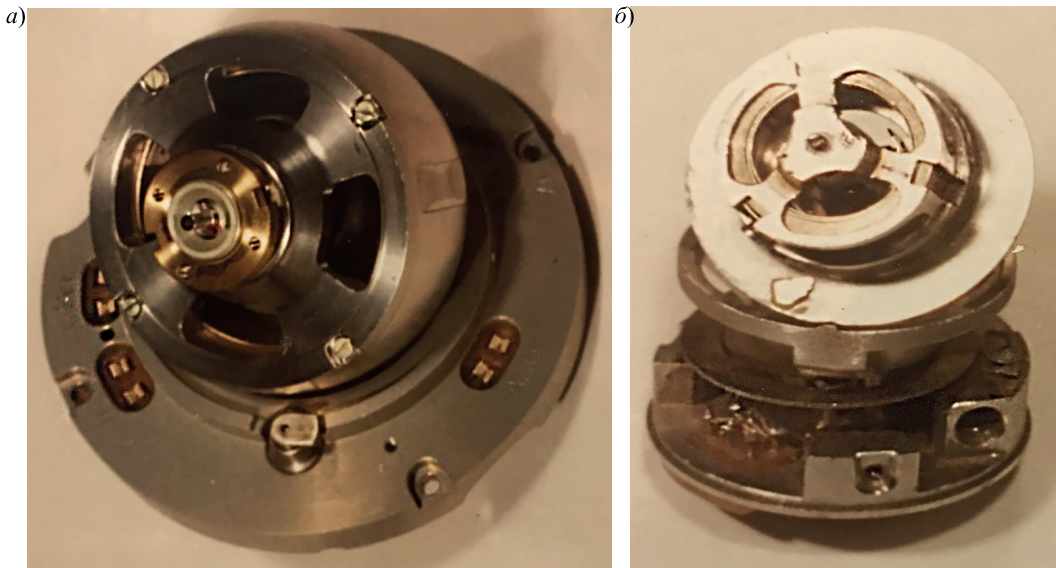


Рис. 5. Гироскопы направления: ГН 9Б838 (а), ГН 9Б891 (б)

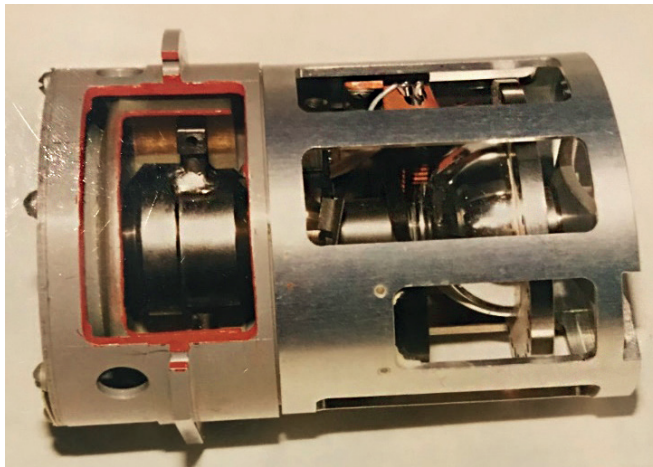


Рис. 6. Общий вид ГН со снятым кожухом

Особенностью конструкции является плоский торец дискообразного ротора, за которым находится стенка корпуса прибора. Зазор между ними определяется углами прокатки ротора. При наклоне корпуса прибора в зазоре происходит перераспределение давления в воздушном слое таким образом, что гироскоп прецессирует в направлении наклона корпуса. Это позволяет выполнять динамическую настройку ГН с дрейфом менее 0,1 град/с.

Дополнительные сведения об особенностях конструкции ГРК и ГН, построенных в КБП, приведены в [15].

Коллектив ОГТ КБП, который в настоящее время на 80% состоит из выпускников кафедры приборов управления, работает над созданием и совершенствованием

гиросприборов для современных комплексов вооружения в направлении увеличения точности и надежности в более жестких условиях применения.

Измерители угловых перемещений

Большая прицельная дальность стрельбы реактивных систем залпового огня (РСЗО) «Смерч» [16], созданных в АО «НПО «Сплав» имени А.Н. Ганичева (ГНПП «Сплав»), обеспечена применением в снарядах бортовой системы коррекции начального участка траектории, которая основана на угловой стабилизации направления продольной оси снаряда, заданного направляющей пусковой установки. Чувствительным элементом системы угловой стабилизации (СУС) является гироскопический измеритель угловых перемещений (ИУП) продольной оси снаряда.

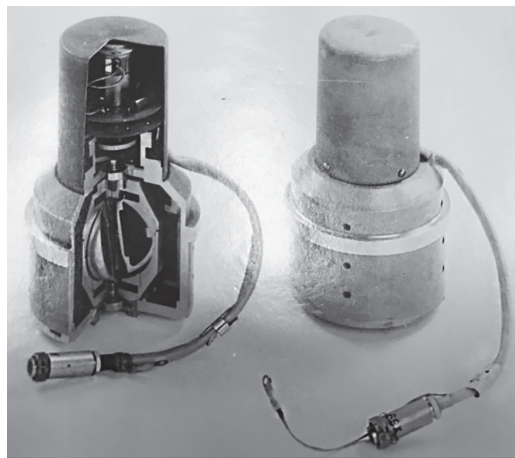


Рис. 7. ИУП в разрезе и общий вид

Для разработки ИУП была организована лаборатория (руководитель – В.Д. Зайцев), где впервые в мировой практике был создан гироскопический ИУП с гидродинамическим подвесом сферического ротора-поплавка (рис. 7) для СУС вращающихся снарядов РСЗО.

Работоспособность ИУП сохраняется при частичном заполнении жидкостью полости, в которой размещается ротор-поплавок, что позволило осуществить сохранение его нулевой плавучести в заданном интервале температур и исключить необходимость термостатирования ИУП, чувствительного к угловой скорости 0,03 град/с. Новые технические решения были защищены авторским свидетельством СССР, а В.Д. Зайцев в 1990 г. в составе авторского коллектива КБ специальных сплавов (Москва) был удостоен Государственной премии СССР за создание сплава для кольцевого магнита в роторе магнитно-электрического датчика угловых перемещений. Некоторые итоговые результаты работ по ИУП с гидродинамическим гироскопом приведены в [17]. Были усовершенствованы конструкция ИУП (см., например, [18]) и методы его проектирования.

В 2003 г. коллектив авторов (Т.П. Барычева, В.Д. Зайцев, Л.А. Маслова, В.С. Седых (ГНПП «Сплав»), М.А. Гельфонд, И.С. Розен (г. Челябинск), В.Я. Распопов (ТулГУ)) был отмечен премией имени С.И. Мосина за гироскопический ИУП со сферическим гидродинамическим подвесом для реактивных снарядов РСЗО, в ходе работы над которым были достигнуты следующие результаты:

- построена математическая модель, которая с достаточной на практике точностью отражает связь конструктивных и эксплуатационных параметров с учетом гидродинамических явлений в сферическом подвесе, технологических погрешностей изготовления и внешних воздействий;
- создан алгоритм проектирования и расчета ИУП, а также программа, внедренная на ЭВМ;
- разработаны новые методы и средства функционального контроля элементов и ИУП в целом.

Наряду с совершенствованием серийного ИУП в конструкторском отделе был построен ИУП по схеме трехстепенного гироскопа на сферическом шарикоподшипниковом подвесе (ШПП) (рис. 8), в качестве которого был применен двухрядный сферический шарикоподшипник 4-851064Ю. В конструкции использован корпус с катушками датчика съема информации от серийного ИУП, а также сохранен принцип работы магнитоэлектрического датчика [19].

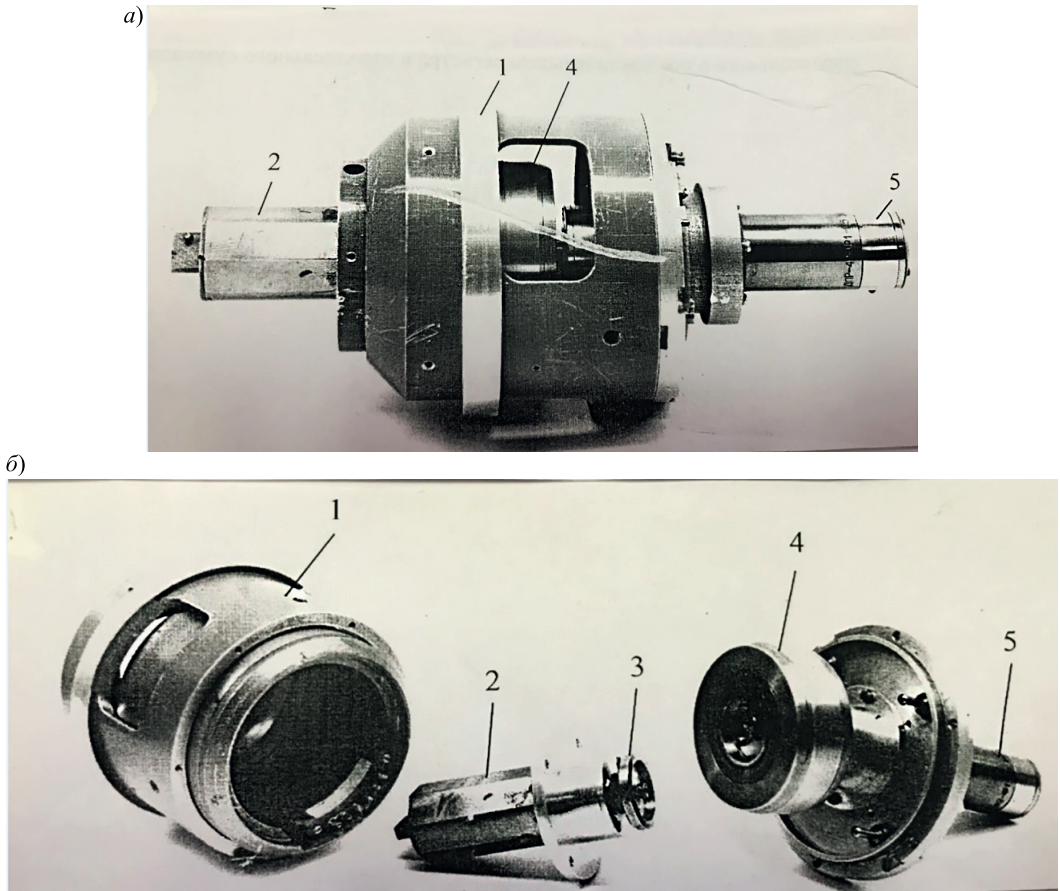


Рис. 8. Общий вид и основные сборочные единицы ИУП с шарикоподшипниковым подвесом ротора:
 1 – корпус с катушками датчика съема информации (унифицирован с серийным ИУП);
 2, 3 – соленоид и диск узла арретирования и разгона ротора;
 4 – ротор на ШПП; 5 – электродвигатель

Расчеты и испытания, проведенные в ГНПП «Сплав» и на кафедре приборов управления ТулГУ, показали возможность создания ИУП на ШПП ротора с постоянной времени не менее 50 с и собственным дрейфом, не превышающим 0,05 град/с.

По инициативе генерального директора ГНПП «Сплав» Героя России Н.А. Макарова (1938–2019) в 2003–2004 гг. были построены перспективные ИУП под калибры снарядов 300 и 220 мм. В работе (научный руководитель – В.Я. Распопов) принимали участие коллективы трех организаций: ТулГУ (В.И. Горин, С.В. Телухин, Р.В. Алалуев, А.А. Горин), ГНПП «Сплав» (Т.П. Барычева, Л.А. Маслова, В.С. Седов – участники создания серийного ИУП), Мичуринский завод «Прогресс» (МЗП)

(С.П. Ермилов, В.С. Сорокин, Н.С. Сорокина) при активной поддержке генерального директора В.А. Дмитриева.

Был выполнен значительный объем теоретических исследований, конструкторских и экспериментальных работ. В итоге МЗП изготовил опытные партии ИУП двух модернизированных версий. Одна из них – гиросприбор ИУП-01 (рис. 9) с вращением ротора двигателем постоянного тока специальной разработки через шарнир Гука (вращающийся карданов подвес). Особенность этого гиросприбора заключается в том, что двигатель может функционировать в генераторном режиме при вращении ротора на выбеге, в течение которого вырабатывается напряжение для питания СУС.

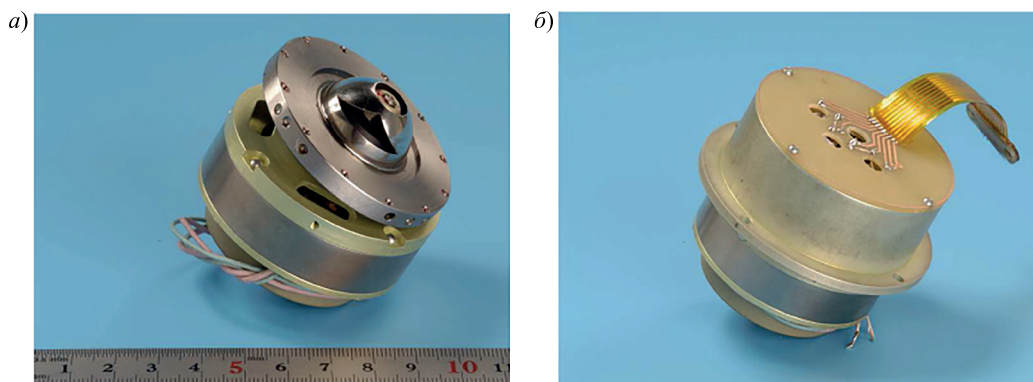


Рис. 9. ИУП-01: *а* – гироблок с электродвигателем, *б* – в корпусе

Гиросприбор ИУП-02 (рис. 10) выполнен по схеме трехстепенного гироскопа с внутренним кардановым подвесом. Импульсный разгон ротора производит пружинный стартер, затем ротор вращается на выбеге. Оба прибора имеют оригинальную конструкцию оптоэлектронного датчика углов.

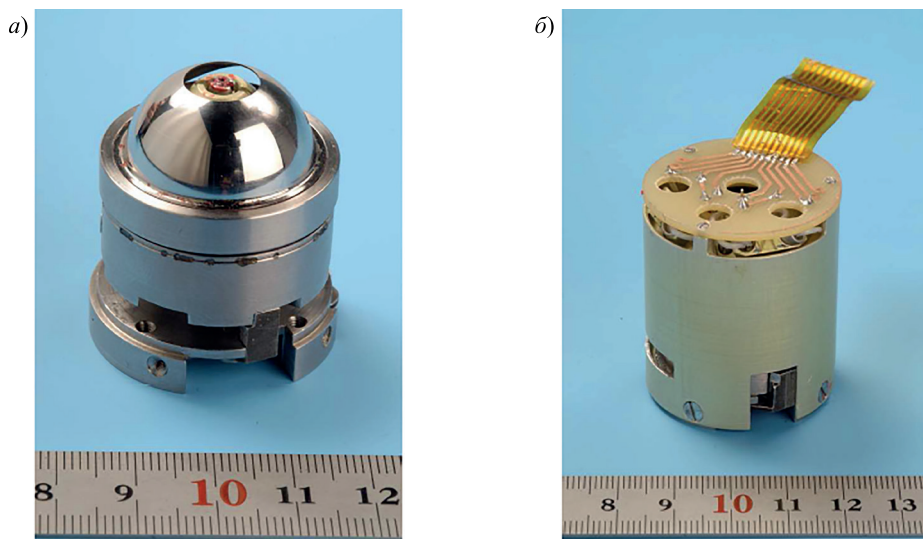


Рис. 10. ИУП-02: *а* – в зааретированном состоянии (без корпуса), *б* – в корпусе

Масса и габариты ИУП-01 и ИУП-02 значительно меньше, чем у серийного ИУП. Время готовности для ИУП, ИУП-01 и ИУП-02 составляет 20, 10 и 0,05 с соответственно, а чувствительность – 0,03; 0,05 и 0,1 град/с (не более).

Некоторые параметры этой разработки опубликованы в статье [20].

Динамическая особенность ИУП заключается в том, что при частоте поперечных колебаний снаряда больше собственной частоты гироскопа ИУП является измерителем угловых колебаний. Если частота колебаний снаряда или пусковой установки, на которой он находится, меньше собственной частоты гироскопа, ИУП измеряет угловые скорости колебаний снаряда. Это свойство может быть использовано при создании СУС снаряда.

Заключение

Тульскими инженерами разработаны бортовые гироскопы, обеспечивающие в составе систем управления заданную точность полета ракет ПТРК, РСЗО и АУРС. Прогрессивные технические решения в основе конструкций бортовых гироскопов обеспечили надежность их функционирования и исключили необходимость принципиальных доработок их конструкции.

В модернизации бортовых гироскопов принимают участие сотрудники кафедры приборов управления ТулГУ [21].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Боеприпасы точного наведения** // Сборник научно-технической информации. Тула: КБП, 2010. №1 (31). С. 70–120.
2. **Илюхина Н.С., Фимушкин В.С., Чуканов К.П.** Управляемые средства поражения комплексов высокоточного вооружения. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 239 с.
3. **Распопов В.Я.** Теоретико-экспериментальное исследование импульсных гироскопов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тула, 1966.
4. **Распопов В.Я.** Разработка импульсных гироскопов в КБП // За прогресс. 1997. №5 (146). С. 2.
5. **Бабичев В.И., Горин В.И., Распопов В.Я.** Анализ работы маятникового ориентатора и датчика угла гироскоординатора ПТУР // Оборонная техника. 1996. №10. С. 11–12.
6. **Гироскоординатор** с пружинным гироскопом. Распопов В.Я., Горин В.И., Шайденко А.Я., Чекалин Е.Б. Авторское свидетельство №71246 от 15.05.1973.
7. **Распопов В.Я.** Механические гироскопы: учеб. пособие. Тула: Изд. ТПИ, 1982. 70 с.
8. **Бабичев В.И., Грязев М.В.** Разработка бортовых гироскопов противотанковых и управляемых артиллерийских снарядов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №9-2. С. 9–19.
9. **Бабичев В.И., Горин В.И., Распопов В.Я.** Современное состояние теории и практики импульсных гироскопов // Оборонная техника. 1993. №3. С. 40–44.
10. **Бабичев В.И., Горин В.И.** Особенности конструкции импульсных гироскопов // Оборонная техника. 1994. №5–6. С.13–17.
11. **Горин В.И., Распопов В.Я.** Научные основы разработки конструкций бортовых гироскопов с импульсными гироскопами // Оборонная техника. 1995. №6. С.44–50.
12. **Горин В.И., Распопов В.Я.** Гироскоординаторы вращающихся по крену ракет. М.: НТИЦ Информтехника, 1996. 151 с.
13. **Распопов В.Я., Горин В.И., Чекалин Е.Б., Шайденко А.Я.** К вопросу о движении гироскопа, построенного на шарнире Гука // Изв. вузов. Приборостроение. 1972. Т.XV. №3. С. 75–78.
14. **Гироскопический прибор** и способ регулировки его дрейфа. Шипунов А. Г., Бабичев В.И., Горин В.И., Анисимова Н.А., Распопов В.Я. Патент №2114394 27.06.1998. Бюллетень №18 от 27.06.1998.
15. **Дудка В.Д., Бабичев В.И., Филимонов В.Я., Кирилин В.В., Горин В.И., Распопов В.Я., Малютин Д.М.** Бортовые гироскопы вращающихся по крену летательных аппаратов // Гироскопия и Навигация. 2007. №1 (56). С. 36–47.
16. **Забродин Ю.** «Град», «Ураган», «Смерч» – божье наказание или надежный щит Родины // Тульские известия. 1995. №144 (446). С. 2.

17. **Зайцев В.Д., Распопов В.Я.** Гидродинамические гироскопы // Оборонная техника. 1994. №5–6. С. 56–60.
18. **Гидродинамический гироскоп.** Патент РФ №2116623С1. МПК G01С19/20. Заявка 29.11.1995. Опубликовано 27.07.1998г. Авторы: Неудахин Ю.М., Лошневский Г.М., Зайцев В.Д., Седов В.С., Барычева Т.П., Самарин В.Г., Маслова Л.А., Белобрагин В.Н.
19. **Гироскопический прибор.** Оськин Ю.Н. Распопов В.Я. Авторское свидетельство №282956 от 3.10.1988 приоритетом от 31.07.1987.
20. **Белобрагин В.Н., Зайцев В.Д., Распопов В.Я. и др.** Опыт разработки гиросприборов для вращающихся по крену изделий // Гироскопия и навигация. 2005. №4 (51). С. 57–71.
21. **Распопов В.Я.** Гиросприборы и системы управляемых ракет ближней тактической зоны. Тула: Изд. ТулГУ, 2013. 248 с.

Материал поступил 24.02.2022