

---

## СЕКЦИЯ № 5

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

---

### ГИРОСКОПЫ ДЛЯ ЗАБОЙНЫХ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Брантов А. А.

Научный руководитель: Гормаков А. Н., доцент, к.т.н.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: www.arem@mail.ru

### GYROSCOPES FOR MEASUREMENT WHILE DRILLING

Brantov A. A.

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD Gormakov A. N.  
Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050  
E-mail: www.arem@mail.ru

*Ввиду сложных условий эксплуатации скважинных приборов до настоящего времени наибольшее применение получили магнитометрические забойные телеметрические системы (ЗТС). Они имеют невысокую стоимость и высокую надежность. Однако, направление и напряженность силовых линий магнитного поля Земли не могут быть определены с высокой степенью достоверности для конкретных месторождений. Это обуславливает повышенную погрешность в измерении, расчете и формировании инклинометрической (навигационной) информации. Таких недостатков лишены гироскопы. Поэтому, в последнее время огромное внимание уделяется разработке забойных телесистем на основе гироскопов. В статье проведен обзор по материалам отечественных и зарубежных публикаций по гироскопам, применяемым в забойных телеметрических системах (ЗТС).*

*Due to the complex operating conditions of downhole tools, magnetometric measurement while drilling (MWD) have been used to the greatest extent so far. It is have a low cost and high reliability. However, the intensity and direction of the earth's magnetic field force lines can not be determined with a high degree of certainty for specific deposits. This causes an increased error in the measurement, calculation and formation of inclinometric (navigational) information. Gyroscopes are deprived of such shortcomings. Therefore, recently more attention is paid to the development of downhole MWD based on gyroscopes. The article was reviewed about materials of domestic and foreign publications on gyroscopes used in MWD.*

Забойная телеметрическая система, в качестве измерительной системы, используется в важнейшем технологическом процессе – строительстве скважин. По ее показаниям инженер наклонно-направленного бурения контролирует соответствие профиля и плана скважины заданию проекта и производит коррекцию процесса бурения соответствующим образом [1]. Поэтому точность производимых измерений и оперативность их представления во многом определяют и затраты на построение скважины в целом. Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных телесистем подробно рассмотрены в статье [2].

Разработкой этих систем занимаются специализированные зарубежные и отечественные фирмы (Schlumberger, Sperry Sun- Halliburton, СИБНА-Тюмень, GyroLogic и др.).

Обзор по материалам различных публикаций [3, 4] показал, что в гироскопических ЗТС наибольшее применение находят волоконно-оптические (ВОГ) и твердотельные волновые гироскопы (ТВГ).

#### **Забойные телесистемы на основе ВОГ**

Максимальная глубина скважины, проводка которой осуществляется с помощью телесистемы, определяется рабочим диапазоном температур скважинного прибора инклинометра. В связи с этим, в качестве чувствительных элементов для ЗТС, большую перспективу развития имеют ВОГ. В настоящее время разработан данный тип гироскопов, имеющий широкий диапазон рабочих температур [5], что позволит выполнять измерения в скважинах большей глубины. Это, несомненно, является огромным преимуществом

ВОГ. Также ВОГ превосходит самые распространенные гироскопические чувствительные элементы, а именно динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ) по вибрационным и ударопрочностным характеристикам. Исходя из вышесказанного, можно подвести итог о преимуществах ВОГ в забойных телеметрических системах: широкий диапазон измеряемых параметров, возможность работы в условиях больших перегрузок, высокая точность, малые размер и масса. На данный момент ЗТС с применением волоконно-оптических гироскопов находятся на стадии разработки. Ниже приведен рисунок и технические характеристики одной из таких разработок. Это “Гибридный гиромагнитометрический инклинометр” [6].



*Рис. 1. Блок подвижных волоконно-оптических гироскопов*

#### **Характеристики ЗТС**

ЗТС будет иметь следующие технические характеристики [6]:

диапазон измерения температуры:  $-30 \dots +120$  °С,

максимальные выдерживаемые многократные удары и вибрации: 50 g,

максимальные погрешности измерения зенитного угла:  $\pm 0,05$  °,

максимальные погрешности измерения географического азимутального угла в диапазоне зенитных углов  $4 \dots 60$  °:  $\pm 0,5$  °,

максимальные погрешности измерения географического азимутального угла в диапазоне зенитных углов  $0,5 \dots 4$  и  $60 \dots 80$  °:  $\pm 2,0$  °,

максимальные погрешности измерения апсидального угла:  $\pm 0,5$  °,

максимальные погрешности измерения температуры:  $\pm 1,0$  °С.

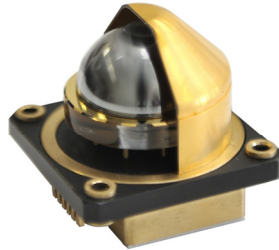
Разрабатываемая забойная телесистема способна работать в двух режимах: многоточечный и непрерывный.

#### **Забойные телеметрические системы на основе ТВГ**

Помимо волоконно-оптических гироскопов, при разработке гироскопических ЗТС большой интерес представляют твердотельные волновые гироскопы (ТВГ) [2]. Данный тип гироскопов обладает рядом преимуществ: термостойкость, малая мощность потребления, а также отсутствие узлов трения. Однако, для разработки ЗТС, в твердотельных волновых гироскопах требуются дополнительная доработка их электронных и механических частей. В связи с этим, на данный момент в нашей стране и за рубежом принимаются решения для достижения цели использования ТВГ в забойных телеметрических системах [7,8,9]. В настоящее время фирмой Litton разработан гироскоп HRG130R [9]. Данный гироскоп способен работать в темпе-

ратурных условиях до 155 °С, имеет высокую стойкость к вибрациям и ударам, благодаря твердотельной конструкции резонатора и корпуса гироскопа (рис. 2)

Данный гироскоп обладает: высокой надежностью, высокой точностью, малыми шумом, массой и размерами.



*Рис. 2. TBГ HRG130R*

### **Заключение**

Внедрение гироскопических чувствительных элементов (ГЧЭ) в забойные телесистемы позволит получать навигационную информацию с более высокой точностью по сравнению с магнитометрическими ЗТС, так как гироскопы не подвержены влиянию изменяющегося магнитного поля Земли.

Однако ГЧЭ являются дорогостоящими, а также сложными в изготовлении и реализации для целей ЗТС. Поэтому, в настоящее время ведутся работы по повышению технологичности данных систем, с целью обеспечения конкурентоспособности на рынке забойных телеметрических систем.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Забойная телеметрическая система СИБ-2. Эксплуатация, обслуживание и ремонт: учебное пособие в 2 кн. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2016 Кн. 1. – 174 с.
2. Брантов А.А. Забойные телесистемы. Современное состояние и перспективы развития. X Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум» - 2018 (Электронный ресурс: <http://www.scienceforum.ru/2018/3034/2895>). Дата обращения 18.04.2018
3. Перспективы использования малогабаритных волоконно-оптических гироскопов в гироинклинометрии (Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-malogabaritnyh-volonno-opticheskikh-giroskopov-v-giroinklinometrii>). Дата обращения 18.04.2018
4. Разработка и испытание волнового твердотельного гироскопа для использования в инклинометрической системе (Электронный ресурс: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21232454>). Дата обращения 18.04.2018
5. Малогабаритный волоконно-оптический гироскоп (Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/v/malogabaritnyy-volonno-opticheskiy-giroskop>) Дата обращения 18.04.2018
6. Скважинный прибор инклинометра (Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/v/skvazhinnyy-pribor-inklinometra>). Дата обращения 18.04.2018
7. Система азимутального гирокомпасирования для забойного инклинометра (Электронный ресурс: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/42719/1/TPU426673.pdf>). Дата обращения 18.04.2018
8. Математические модели и алгоритмы функционирования инклинометра забойной телеметрической системы на базе твердотельного волнового гироскопа (Электронный ресурс:

<http://www.dissercat.com/content/matematicheskie-modeli-i-algoritmy-funktsionirovaniya-inklinometra-zaboinoi-telemetricheskoj>). Дата обращения 18.04.2018

9. The Hemispherical Resonator Gyro: From Wineglass to the Planets (Электронный ресурс: [https://www.researchgate.net/profile/David\\_Rozelle/publication/279909300\\_The\\_Hemispherical\\_Resonator\\_Gyro\\_From\\_Wineglass\\_to\\_the\\_Planets/links/00b7d53bd65d3c57b4000000/The-Hemispherical-Resonator-Gyro-From-Wineglass-to-the-Planets.pdf](https://www.researchgate.net/profile/David_Rozelle/publication/279909300_The_Hemispherical_Resonator_Gyro_From_Wineglass_to_the_Planets/links/00b7d53bd65d3c57b4000000/The-Hemispherical-Resonator-Gyro-From-Wineglass-to-the-Planets.pdf)). Дата обращения 18.04.2018