

# ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**В.С. Полосухин<sup>1</sup>, Г.М. Проскуряков<sup>2\*</sup>.**

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет  
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77

E-mail: wolverine-vlad@mail.ru

<sup>2</sup>ОАО «Институт критических технологий»

Россия, 410040, Саратов, пр. 50 лет Октября, 110А

\*E-mail: prog1939@mail.ru

**Аннотация.** Дана численная и качественная оценка информационных свойств геофизических полей (ГФП): магнитного поля Земли (МПЗ), поля тяжести Земли (ПТЗ) и поля вращения Земли (ПВЗ), состояние которых характеризуются с помощью векторов напряженностей  $T$ ;  $g$  и угловой скорости собственного вращения планеты  $\Omega$ . Методом прямой численной оценки показано, что для каждой точки околоземного пространства свойственна своя конфигурация векторов  $g - \Omega - T$ , образующих пространственный аффинный трехгранник (или естественную геофизическую систему координат  $g\Omega T$ ). Параметры неортогональных геофизических трехгранников  $g\Omega T$  могут быть оценены расчетным путем на основе общепринятых стандартных моделей нормальных ГФП (IGRF, WMM-2015, WGS-84, ПЗ-90 и др.) или определены экспериментальным путем за счет их измерений. С другой стороны, эти же параметр (образующие в совокупности геофизическую информацию) могут быть использованы для определения параметров ориентации и навигации подвижного объекта.

**Ключевые слова:** геофизические поля (ГФП), параметры ГФП, геофизическая информация, пилотажно-навигационная информация, геофизические трехгранники, ориентация и навигация, нормальные и аномальные модели ГФП.

# **ASSESSMENT OF THE INFORMATION PROPERTIES OF GEOPHYSICAL FIELDS FOR NAVIGATION TECHNOLOGY.**

**V. S. Polosukhin, G. M. Proskuryakov.**

**Annotation.** Given the numerical and qualitative assessment of the information properties of geophysical fields (GPF): of the Earth's magnetic field (EMF), the Earth's gravity field (EGF) and of the Earth's rotation field (ERF), a condition which was characterized by the intensity vectors and the angular speed of planet's rotation  $\Omega$ . Methods of direct numerical evaluation shows that for each point of near-Earth space has its own peculiar configuration of vectors  $g - \Omega - T$  which form a spatial aortic triangular (or natural geophysical coordinate system  $g\Omega T$ ).

The parameter of nonorthogonal geophysical trihedrons can be estimated by calculation based on generally accepted standard normal HFP (IGRF, WMM-2015, WGS-84, EF-90, etc.) or determined experimentally by measuring them. On the other hand, these same parameters (forming together a geophysical information) can be used to determine the parameters of orientation and navigation moving object.

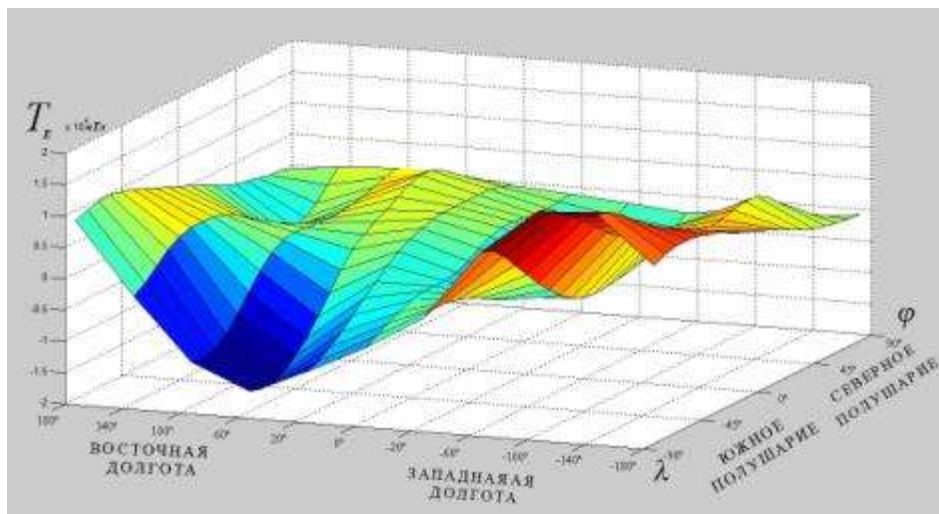
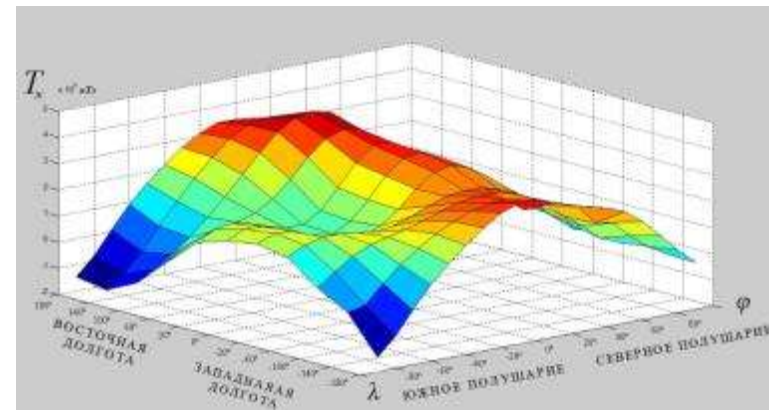
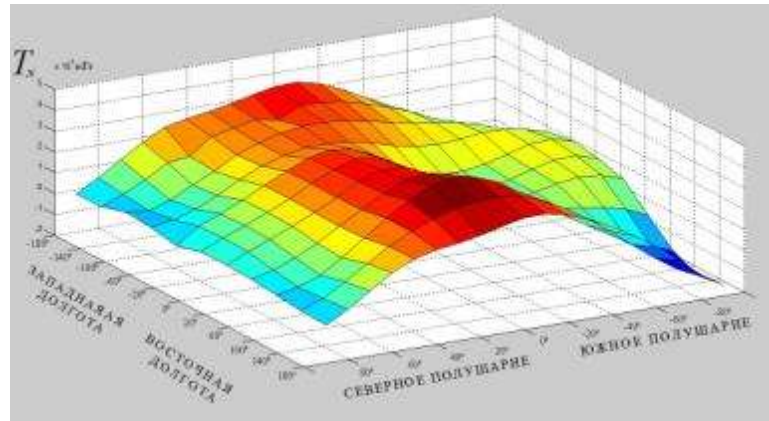
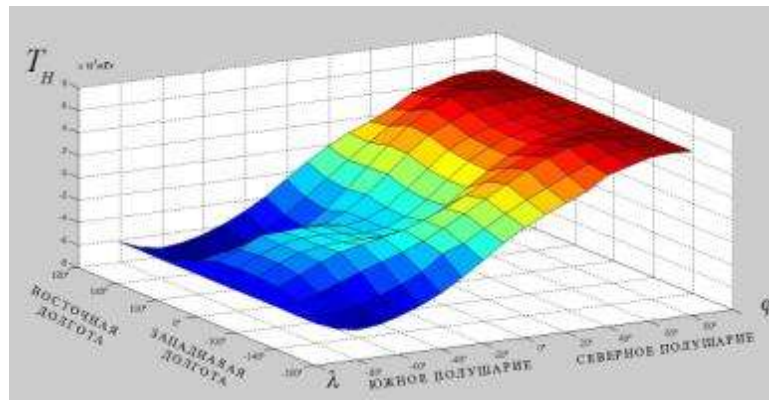
**Keywords:** geophysical fields (GPF), GFP parameters, geophysical information, piloting-navigation information, geophysical trihedron, orientation, navigation, normal and abnormal models of GFP.

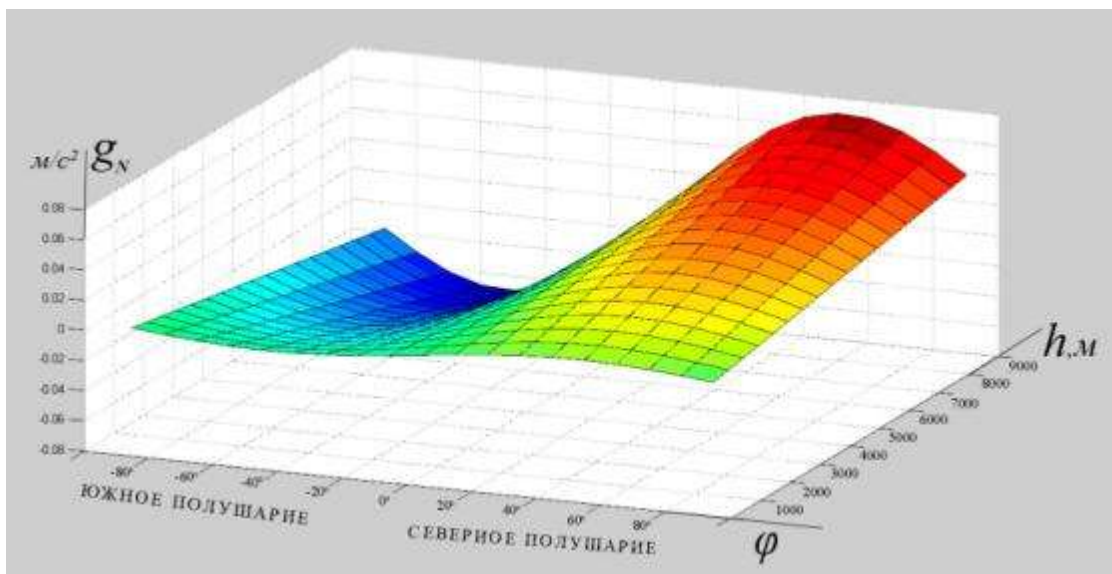
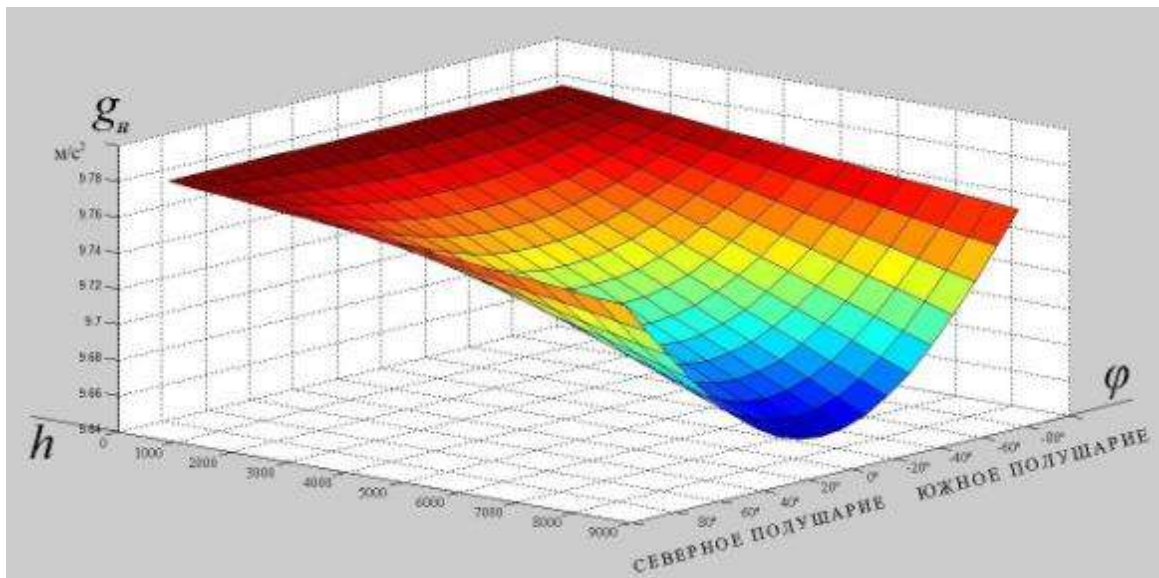
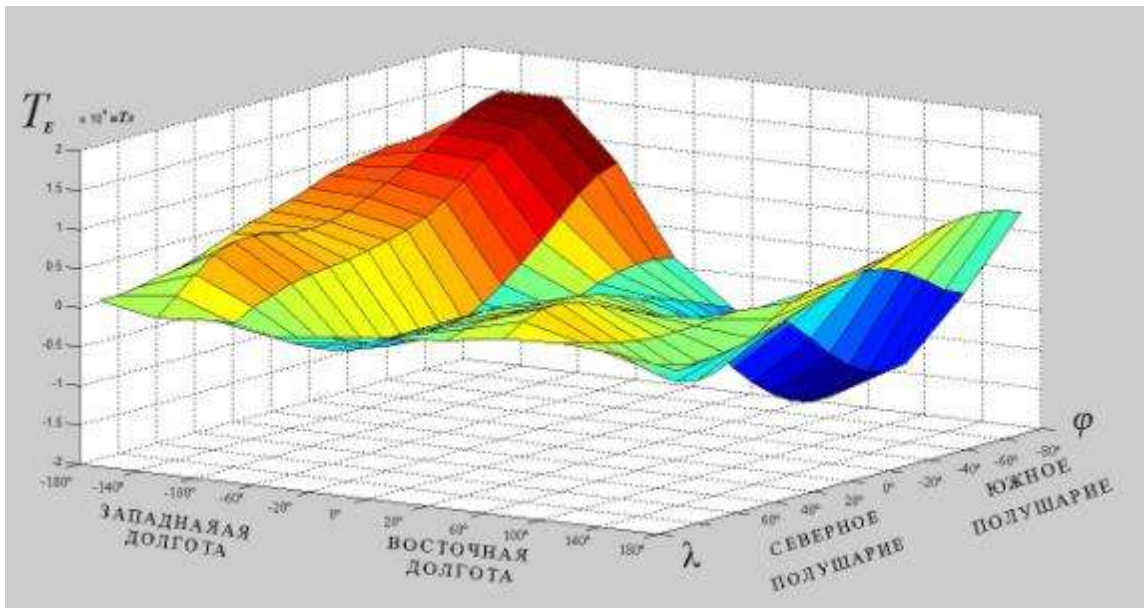
**Введение.** Измерение параметров геофизических полей (ГФП) лежат в основе решений многих научных и технических задач (геофизических и геологоразведочных, инженерно-строительных и экологических, пилотажно-навигационных и управленческих, локационно-поисковых и других). В геологоразведке и геофизике используются как правило **аномальные модели** ГФП (ПТЗ-А и МПЗ-А), так как аномальные поля в силу своей детальности в большей степени информативны, нежели их нормальные аналоги. При решении задач ориентации и навигации подвижных объектов (ПО) также используются **аномальные модели** реальных ГФП, доступные измерениям (корреляционно-экстремальная навигация (КЭН), физическое и аналитическое горизонтирование по ПТЗ, физическое и аналитическое компасирование по

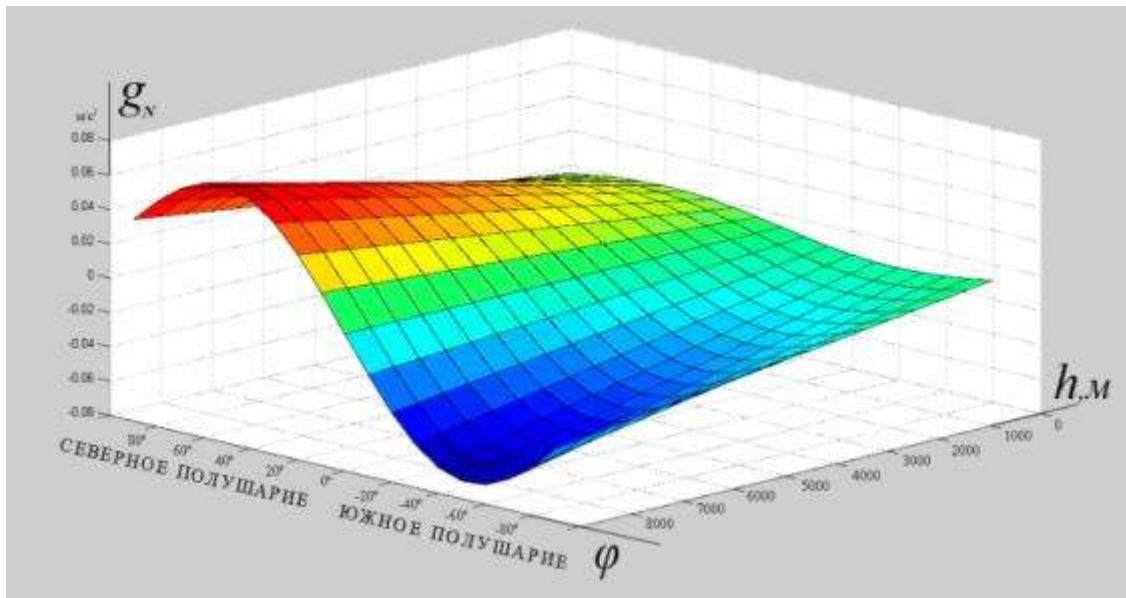
МПЗ и ПВЗ). С другой стороны, формирование первичной информации о ГФП требует предварительного выполнения достаточно трудоемкой и тщательной работы по геофизическому картографированию, которое сводится к определению параметров ГФП для каждой точки околоземного пространства с привязкой их карте местности. Кроме того: использование аномальных ГФП (ПТЗ-А и МПЗ-А) применительно к навигационным технологиям исключает свойство автономности у навигационных систем. Вместе с тем анализ показывает, что ориентация на практическое комплексное (интегрированное) использование **нормальных моделей** ГФП, соответствующих принятым международным и национальным стандартам, дает возможность корректно и достаточно точно решать задачи навигационных технологий в **автономном режиме**.

**Целью** настоящей работы является оценка информационных свойств ГФП по их нормальным моделям применительно к задачи ориентации и навигации ПО. Сформулированная цель достигается путем численной оценки параметров ГФП по их нормальным моделям (модулей, компонент, градиентов векторов и углов их взаимной ориентации). На рис.1-10 представлены 3D-графики, характеризующие зависимости от географических координат (широты  $\varphi$  и долготы  $\lambda$ ) компонент. Геофизических векторов  $T, g, \Omega$  (в проекциях на оси географического трехгранника NHE). (высота  $h=0$ ).

Численный анализ представленных графиков показывает, что на поверхности Земли (как и в околоземном пространстве) не существует ни одной пары точек, в которых бы параметры нормальных моделей ГФП повторялись полностью. Это свойство ГФП (свойство **единственности решений**) является исходным моментом для корректной постановки и решения задач навигационных технологий.







**Рисунок 1.**

Свойство **единственности решений** задач навигационных технологий на ГФП является исходным положением и для практического решения задач ориентации и навигации ПО. Это свойство может быть усилено, если используя системный подход дополнительно оценить комплексные показатели ГФП (например, углы взаимной ориентации  $\alpha, \beta, \sigma$  векторов  $g - \Omega - T$ ).

Системный анализ представленных графиков (рис.1-10) указывает на то, что природа пометила все точки околоземного пространства естественными реперами (ориентирами) в виде невидимых, но материализованных геофизических трехгранников  $g - \Omega - T$ , которые удовлетворяют условию **единственности решений**, причем в условиях структурно-функциональной избыточности геофизической информации. Идея о принципиальном и практическом использовании информации о векторах естественно существующих (природных) и искусственно создаваемых (техногенных) физических полей для целей решения задач ориентации и навигации ПО известна давно, например:

- способ физического и аналитического горизонтирования подвижного основания по вектору  $g$  ПТЗ,
- способ физического и аналитического горизонтирования-компасирования ПО по векторам  $\Omega$  и  $T$  ПВЗ и МПЗ,

– способ аналитического позиционирования точки в околоземном пространстве по радиусам-векторам  $r_i$  ( $i = 1, n$ ), определяемым хронометрическим ( $\tau_i$ ) или фазометрическим ( $\varphi_i$ ) методами с помощью спутниковой навигационной системы (СНС), или наземной радиотехнической системы дальней навигации,

– двухвекторный способ TRIAD, разработанный в 60-х годах XX столетия для решения задач гиро-астрономической ориентации космических аппаратов (КА) на орбите,

– двухвекторный способ ориентации КА на орбите на основе тахо-магнито-метрической информации,

– трехвекторный способ решения задач геодезии на основе оценки базисов векторов и другие.

Однако решение этих задач навигационных технологий векторным способом носит фрагментарный, бессистемный характер с учетом реальных ограничений в штат или иной области. В настоящей работе сделана первая попытка предложить в качестве альтернативы для известных способов решения задач навигационных технологий новый обобщенный векторный способ **геофизической навигации и ориентации магнитометрический (ГНОМ)**, основанный на преобразовании геофизической информации (ГФИ) в пилотажно-навигационную информацию (ПНИ) за счет соответствующего математического (МО), программно-алгоритмического (ПАО) и конструктивно-технологического (КТО) обеспечений:

$$\begin{aligned}
 e_g &= g & \psi \\
 e_\Omega &= \Omega & \Rightarrow \vartheta \text{ (задача ориентации)} \\
 e_T &= T & \gamma
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 g &= g_N \ g_H \ 0^T \\
 \Omega &= \Omega_N \ \Omega_H \ 0^T \\
 T &= T_N \ T_H \ T_E^T
 \end{aligned} \Rightarrow \begin{matrix} \varphi \\ \lambda \\ r \\ h \end{matrix} \text{ (задача навигации)} \tag{2}$$

Метод ГНОМ:

- автономный,
- беспутниковый,
- бесплатформенный,
- безинерциальный (безынтегральный)

и относится к группе позиционно-дифференциально-геометрических способов решения задач ориентации и навигации (не кинематических).

Из анализа представленных графиков по оценке основных параметров нормальных моделей ГФП следует вывод о принципиальной и практической возможности использования структурно- и функционально-избыточной геофизической информации, сформированной по общепринятым стандартным моделям ГФП (IGRF, EMM, WMM-2015, WGS-84, ПЗ-90 и др.), для эффективного решения задач ориентации и навигации. Оценка ожидаемых погрешностей решения задач навигационных технологий методом ГНОМ по нормальным моделям ГФП зависит от многих технологических и эксплуатационных факторов и выходит за рамки настоящей работы.

### **Список литературы.**

1. Смирнов В. А. Система стабилизации и наведения линии визирования с уменьшенными габаритами и особенности ее динамики // XV Юбилейная С.-Петербур. международ. конф. по интегрированным навигационным системам, 26–28 мая 2008 г. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2008. С. 166–168.

2. Белобрагин В. Н., Зайцев В. Д., Распопов В. Я., Горин В. И., Горин А. А., Дмитриев В. А., Сорокин В. И., Ермилов С. П. Опыт разработки гироприборов для вращающихся по крену изделий // XII С.-Петербур. международ. конф. по интегрированным навигационным системам. 23–25 мая 2005 г. СПб. : ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2005. С. 183–194.

3. Царев И. В., Шило В. В., Бортовик В. Б., Дминтриев В. А., Ермилов С. П., Распопов В. Я., Малютин Д. М., Иванов Ю. В., Алалуев Р. В. Разработка магнитометрического измерителя текущего положения // XII С.-Петербур. международ. конф. по интегрированным навигационным системам. 23–25 мая 2005 г. СПб. : ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2005. С. 215–217.



4. Распопов В. Я., Малютин Д. М., Иванов Ю. В., Алалуев Р. В. Малогабаритная система ориентации // Датчики и системы. 2004, № 8. С. 2–5.

5. Пат. RU 2256881 С2 Российская Федерация, МПК G01C 21/16. Способ определения параметров ориентации и навигации и бесплатформенная инерциальная навигационная система для быстровращающихся объектов / заявители Ачильдиев В.М., Мезенцев А. П., Решетников В. И., Сысоев И. В., Трешкин А. И. ; патентообладатель ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова». – № 2003107688/28 ; заявл. 21.03.2003 ; опубл. 20.07.2005 , Бюл. 20. – 11 с.

6. Погорелов М. Г., Шведов А. П., Малютин Д. М. Система ориентации подвижного объекта по показаниям магнитных датчиков // Датчики и системы. 2004, № 5. С. 51–54.

7. Пат. RU 2130588 С1 Российская Федерация, МПК G01C 21/08, G01C 21/12, G01C 17/38. Способ измерения магнитного курса подвижного объекта / заявители Архипов В. А., Ветошкина Н. К., Зюзлов В. Ф., Лебедев С. О., Потапов А. А., Олаев В. А.; патентообладатель ОАО «Чебоксарский приборостроительный завод "Элара"» – № 98108097/28 ; заявл. 23.04.1998 ; опубл. 20.05.1999, Бюл. 16, – 12 с.

8. Пат. RU 2527369 С1 Российская Федерация, МПК F42В 15/01, G01C 21/08. Способ определения угла крена вращающегося по крену летательного аппарата / заявители Шипунов А. Г., Бабичев В. И., Морозов В. И., Шигин А. В., Рабинович В. И., Долгова Т. С., Акулинин С. И., Менькин В. Б., Бальзамов И. А.; патентообладатель ОАО «Конструкторское бюро приборостроения имени ак. А. Г. Шипунова». – №2013115672/11 ; заявл. 09.04.2013 ; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24. – 17 с.

9. Кринецкий Е. И. Системы самонаведения. М. : Машиностроение, 1970. 236 с.

10. Игнатъев А. А., Проскуряков Г. М., Васильев А. В. Алгоритмы работы миниатюрной системы ориентации вращающихся подвижных объектов // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Саратов. госуд. ун-та/ 2014. Вып. 17 : Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 78–91.

11. Матвеев В. В., Распопов В. Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб. : ГНЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ "Электроприбор"», 2009. 280 с.

12. Розенцвейн В. Г. Современное состояние скважинных гироскопических навигационных систем // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике : сб. ст. и докл. СПб. : ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2002. С. 146–167.

13. Захарин М. И., Захарин Ф. М. Кинематика инерциальных систем навигации. М. : Машиностроение, 1968. 235 с.

14. Игнатъев А. А., Проскуряков Г. М., Маслов А. А. Миниатюрная курсовертикаль для квазистационарных объектов // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2014. Вып. 16: Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 64–74.

15. Анучин О. Н., Емельянцеv Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 1999. 357 с.

16. Игнатъев А.А., Проскуряков Г.М., Васильев А.В., Маслов А.А. Бесплатформенная система ориентации вращающихся подвижных объектов (хронометрический способ автономной ориентации) // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 2015. Вып 18: Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. С. ?

17. Игнатъев А.А., Проскуряков Г.М. Гетеромагнитометрия: алгоритмы, методики, калибровки блоков и магнитометров. Саратов : Изд-во Сарат. госуд. ун-та, 2014. 152 с.

18. Проскуряков Г.М., Игнатъев А.А., Маслов А.А. Бесплатформенная система ориентации вращающихся подвижных объектов (гармонический способ автономной ориентации) // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та, 2015. Вып 18: Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. С. 66.