

ТЕОРИЯ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.К. Волковицкий¹, А.А. Голован², Е.В. Каршаков¹

1 - Лаборатория динамических информационно-управляющих систем ИПУ РАН

2 - Лаборатория управления и навигации МГУ им. М.В. Ломоносова



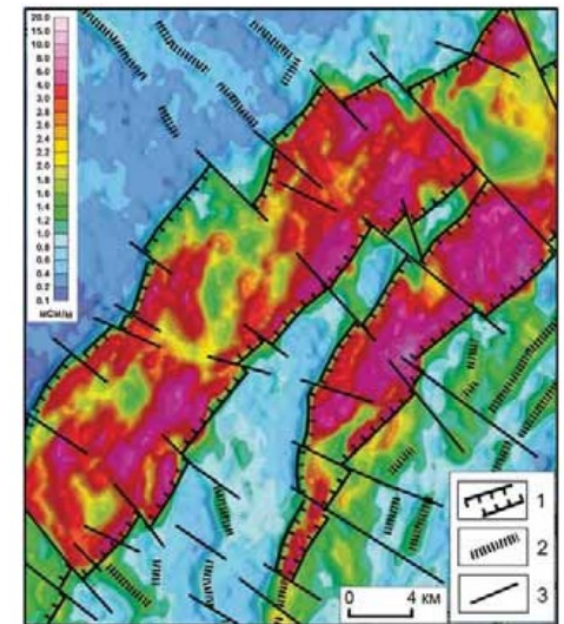
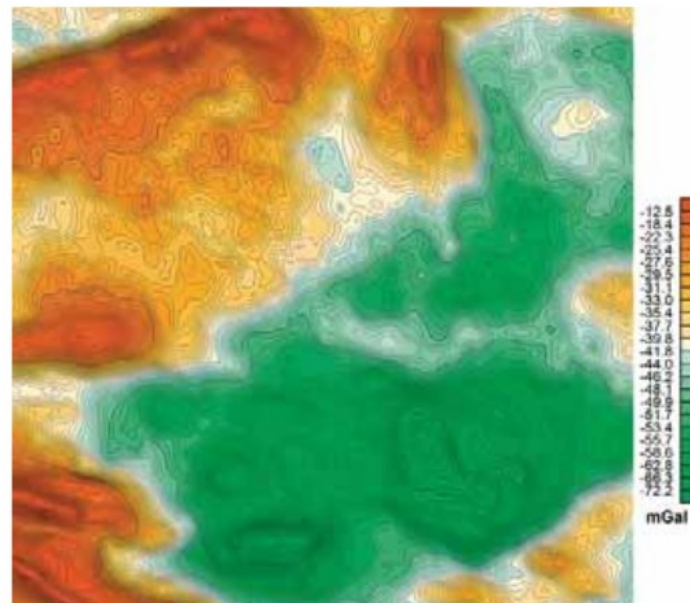
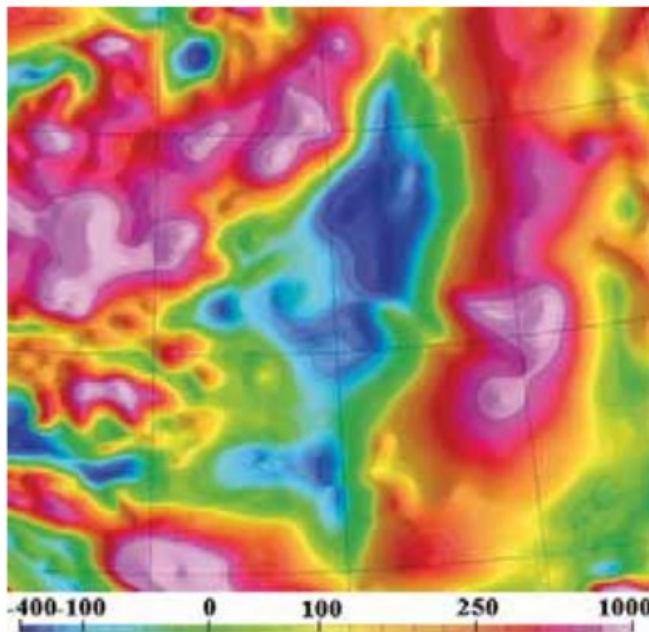
Бортовые измерения -

измерения на борту движущегося объекта (авиационные, морские)



Пространственные физические поля -

поля трехмерной структуры (магнитное, гравитационное)

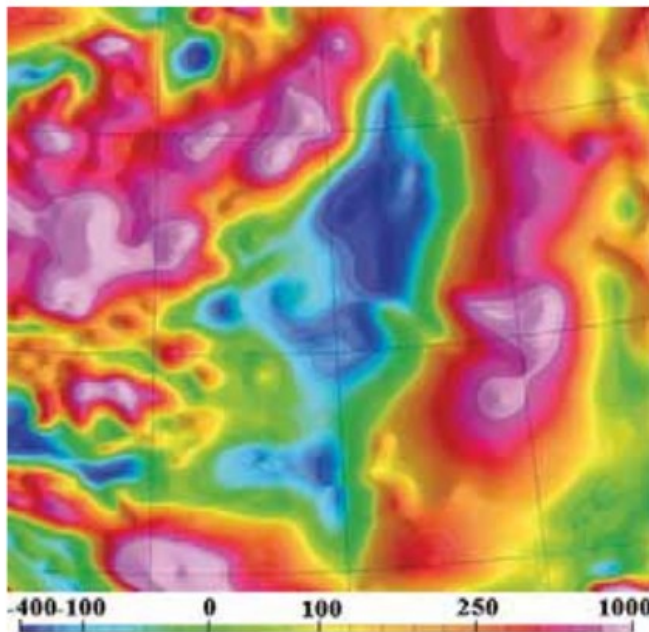


Измеряемые параметры:

магнитные

$$|\mathbf{B}|, \mathbf{B}, \nabla|\mathbf{B}|, \nabla\mathbf{B}^T$$

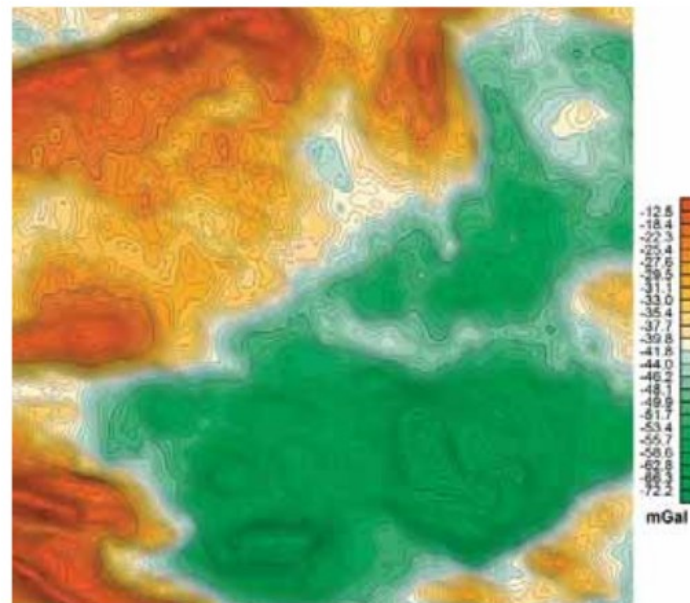
$$|\nabla U^B|, \nabla U^B, \nabla|\nabla U^B|, \nabla\nabla^T U^B$$



гравитационные

$$g_3, \mathbf{g}, \nabla\mathbf{g}^T$$

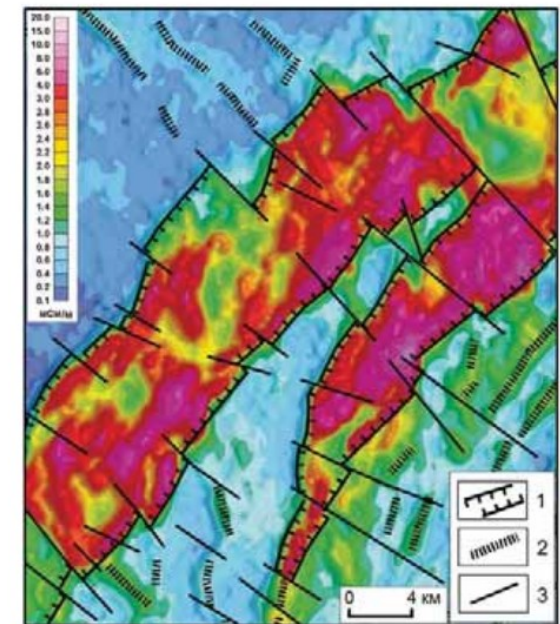
$$\nabla_3 U^G, \nabla U^G, \nabla\nabla^T U^G$$

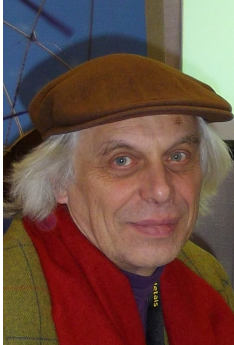


электромагнитные

$$\mathbf{H}(\omega), \mathbf{H}(t)$$

$$\nabla U^H(\omega), \nabla U^H(t)$$





Андрей Кириллович Волковицкий – к.т.н., старший научный сотрудник Лаборатории динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова ИПУ РАН



Андрей Андреевич Голован – д.ф.-м.н., заведующий Лаборатории управления и навигации МГУ им. М.В. Ломоносова



Евгений Владимирович Каршаков – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Лаборатории динамических информационно-управляющих систем им. Б.Н. Петрова ИПУ РАН



Цель:

- создание единого подхода к разработке моделей, методов и алгоритмов обработки измерений пространственных физических полей

Задачи управления и навигации:

- уточнение навигационной модели пространственного физического поля
- задача автономной навигации корреляционно-экстремальным методом
- задача относительной навигации в поле локального источника
- задача коррекции инерциальной навигационной системы
- задачи обнаружения, пеленгации, наведения
- задача обеспечения скрытности по физическим полям

Задачи геофизики:

- построение карт аномальной составляющей пространственного поля
- построение модели распределения физических свойств в среде
- выделение аномальных зон, перспективных для обнаружения полезных ископаемых
- выделение тектонических нарушений и уточнение геологических карт



МОДЕЛЬ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

$$f = f_n + f_a + f_v + \Delta f + \delta f$$

f_n – нормальная составляющая поля

f_a – аномальная составляющая поля

f_v – вариационная составляющая поля

Δf – поле носителя и влияние его динамики

δf – инструментальные погрешности



СТРУКТУРА БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

$$f = f_n + f_a + f_v + \Delta f + \delta f$$

f	f_n	f_a	f_v	Δf	δf
B , нТл	50000	0.1-1000	10	100	0.001
g , Гал	1000	0.0001-0.1	0.0001	100	0.0001
H , мА/м	100	0.001-1	0.001	1	0.001



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ ПРИ
ОБРАБОТКЕ
БОРТОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ
-
ВЫДЕЛЕНИЕ
АНОМАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

$$f = f_n + \boxed{f_a} + f_v + \Delta f + \delta f$$

f_n – известна точная модель для потенциала нормальной составляющей поля (IGRF, модель Сомильяны, поле диполя)

f_v – либо измеряется, либо пренебрежимо мала

Δf – определяется с учетом навигационных параметров либо в калибровочном эксперименте, либо в процессе измерений одновременно с f_a

δf – моделируется случайным процессом с известными характеристиками



ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИЯ

ПРАКТИКА

ВНЕДРЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ ПРИ
ОБРАБОТКЕ
БОРТОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ
-
ВЫДЕЛЕНИЕ
АНОМАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

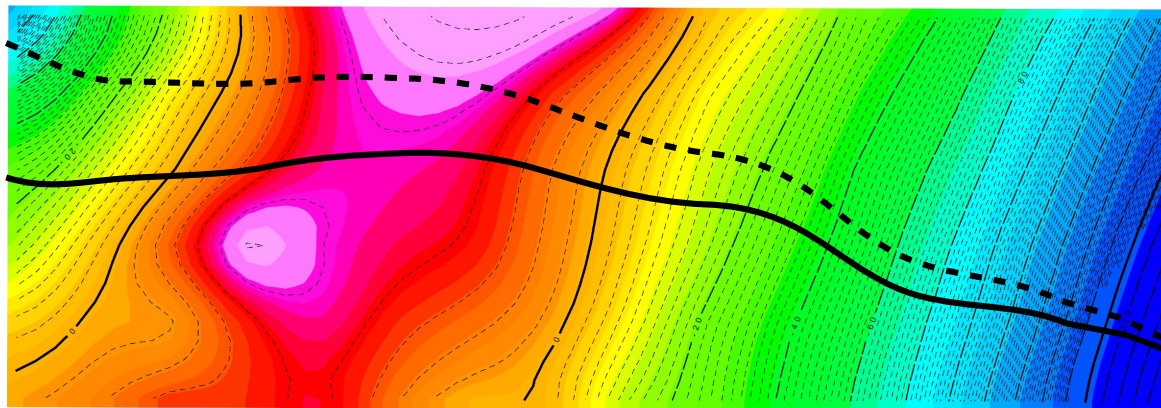
$$f = f_n + \boxed{f_a} + f_v + \Delta f + \delta f$$

Δf – определяется с учетом навигационных параметров либо в калибровочном эксперименте, либо в процессе измерений одновременно с f_a



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

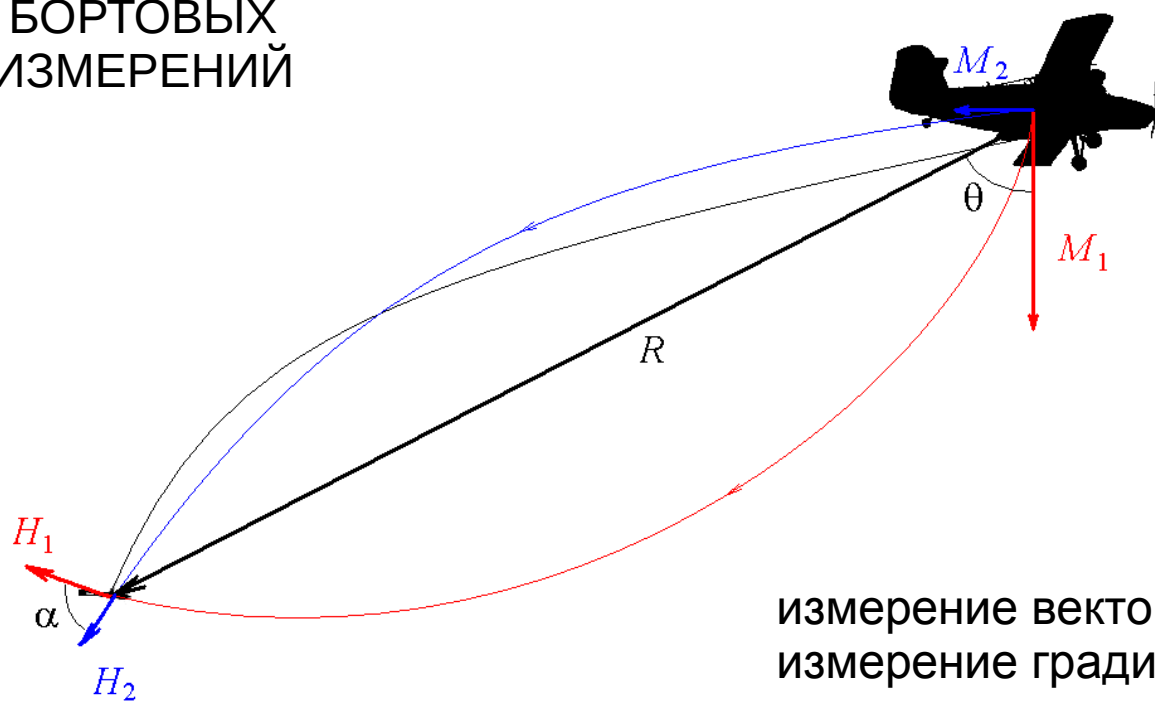
Задача глобальной навигации



корреляционно-экстремальная задача,
задача коррекции ИНС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

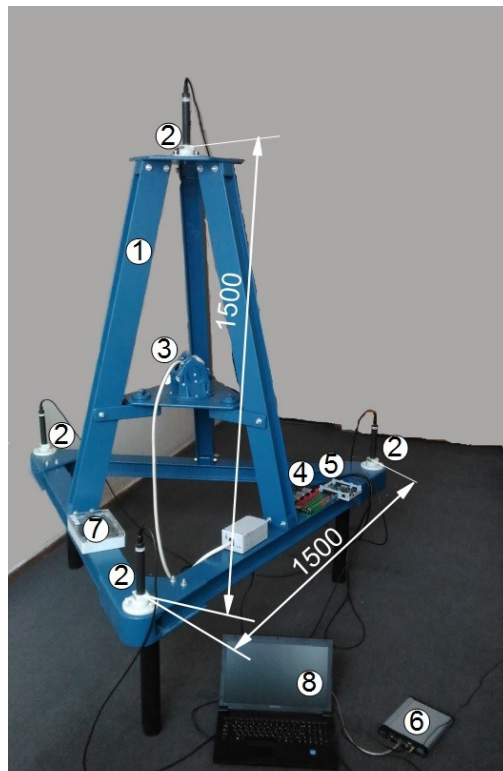
Задача относительной навигации



измерение вектора переменного магнитного поля,
измерение градиента магнитного поля

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

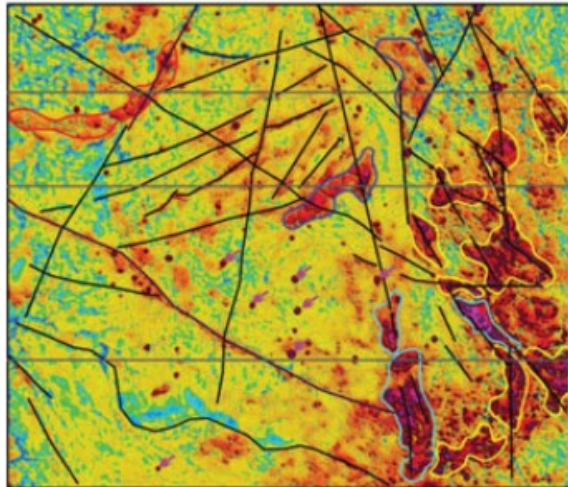
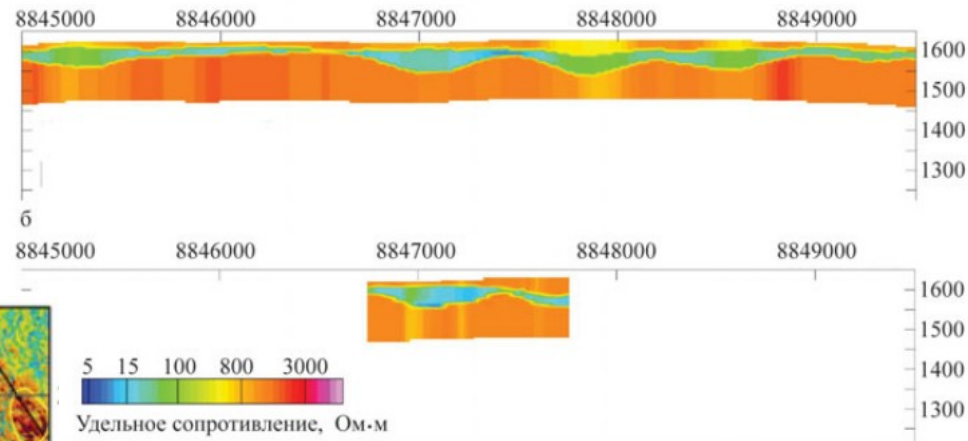
Задачи обнаружения, пеленгации, наведения, ...



измерение градиента
магнитного поля

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Задачи инверсии геофизических измерений



5000 0 5000 15000 м

3 8 11 12 13 15 23 35 52 70

dH, м

определение физических свойств среды
по измерениям аномального поля



ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИЯ

ПРАКТИКА

ВНЕДРЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ АНАЛИЗЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Задача глобальной навигации

Задача относительной навигации

Задачи обнаружения, пеленгации, наведения, ...

Задачи инверсии геофизических измерений





ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИЯ

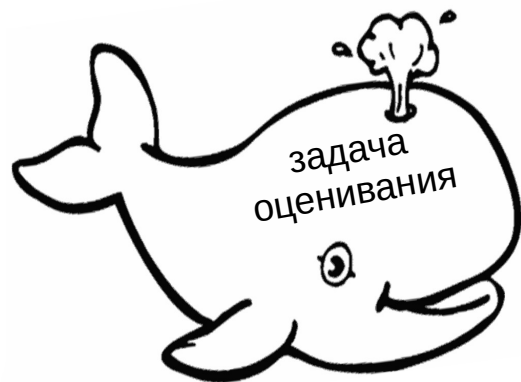
ПРАКТИКА

ВНЕДРЕНИЕ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Комплексная математическая модель аэрогравиметрии
(ИНС, СНС, гравиметр, их погрешности, аномальное и наведенное поле)



Комплексная модель аэромагнитометрии
(квантовый и векторный магнитометры, их погрешности, аномальное и наведенное поле)



Комплексная модель аэроэлектромагнитных измерений
(датчик поля, излучатель поля, их погрешности, наведенное поле)



Комплексная математическая модель аэрогравиметрии
(ИНС, СНС, гравиметр, их погрешности, аномальное и наведенное поле)



Комплексная модель аэромагнитометрии
(квантовый и векторный магнитометры, их погрешности, аномальное и наведенное поле)

Комплексная модель аэроэлектромагнитных измерений
(датчик поля, излучатель поля, их погрешности, наведенное поле)



Стохастические задачи оценивания для

- оценки гравитационной аномалии
(вместо традиционной низкочастотной фильтрации)
- оценки параметров намагничения ЛА
(вместо традиционной высокочастотной фильтрации и МНК)
- обратной задачи геофизики
(вместо традиционных Тихоновского подхода или ММК)



Комплексная математическая модель аэрогравиметрии
(ИНС, СНС, гравиметр, их погрешности, аномальное и наведенное поле)

Комплексная модель аэромагнитометрии
(квантовый и векторный магнитометры, их погрешности, аномальное и наведенное поле)

Комплексная модель аэроэлектромагнитных измерений
(датчик поля, излучатель поля, их погрешности, наведенное поле)



Стохастические задачи оценивания для

- оценки гравитационной аномалии
(вместо традиционной низкочастотной фильтрации)
- оценки параметров намагничения ЛА
(вместо традиционной высокочастотной фильтрации и МНК)
- обратной задачи геофизики
(вместо традиционных Тихоновского подхода или ММК)



Метод пересчета ковариационной матрицы для ошибки
оценки при реализации итерационного обобщенного
фильтра Калмана
(для учета нелинейности в уравнениях измерений)

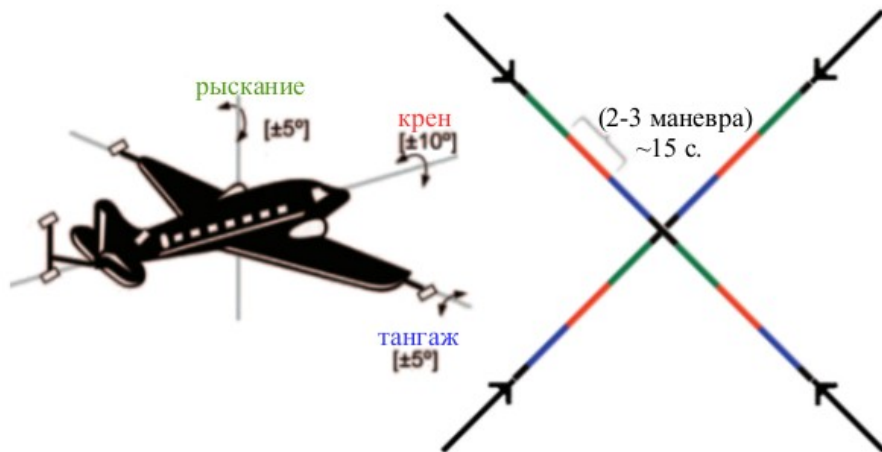
РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОБРАБОТКЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения параметров магнитного поля

1. Методика и алгоритмы измерения сигналов квантовых датчиков, позволяющие получать параметры поля порядка 1000 раз в секунду без потери чувствительности

2. Методика и алгоритмы компенсации влияния летательного аппарата при измерении

- модуля индукции
- вектора индукции
- вектора градиента модуля индукции
- тензора градиента индукции



полет на
одной
высоте

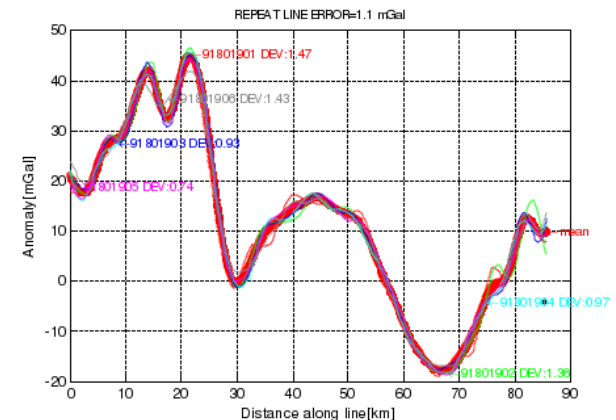
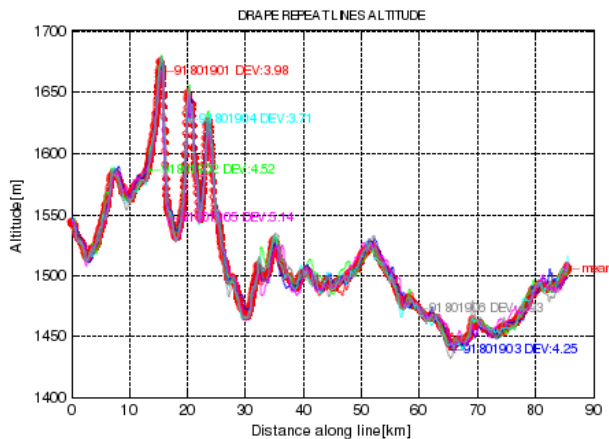
- большая высота, низкий градиент магнитного поля
- набор любых 4-х ортогональных курсов
- тангаж/крен/рыскание можно выполнять в любом порядке
- центральная точка проходится максимально точно



РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОБРАБОТКЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения параметров гравитационного поля

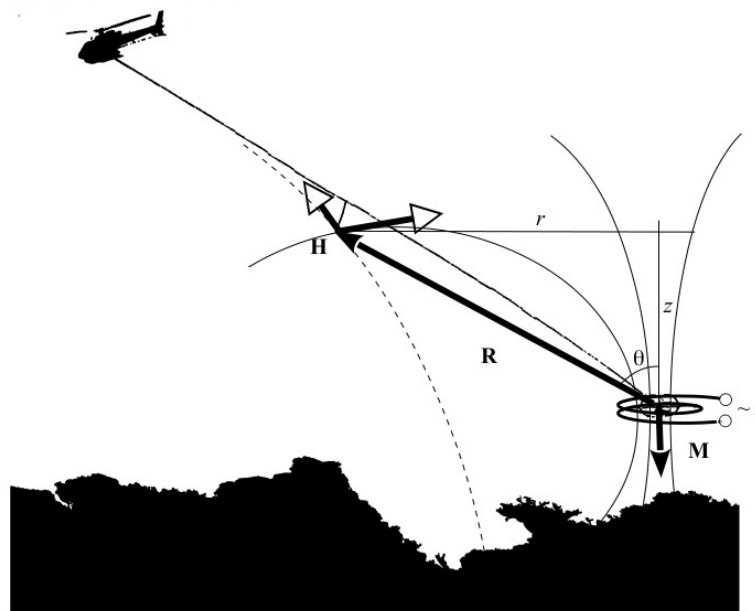
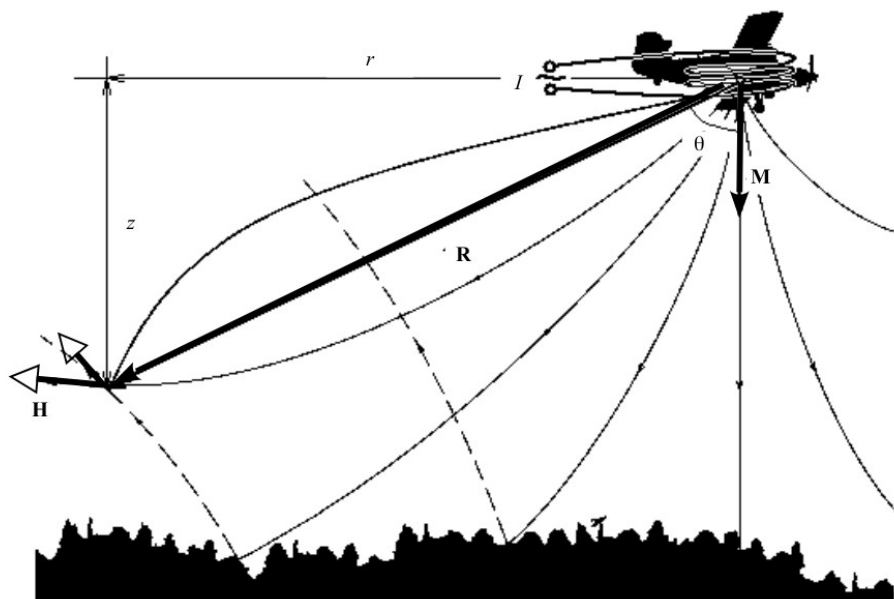
1. Методика и алгоритмы определения аномалии на галсе для измерения вертикальной составляющей вектора удельной силы тяжести
2. Методика и алгоритмы определения аномалии на галсе для измерения компонент вектора удельной силы тяжести
3. Методика и алгоритмы калибровки тензорного градиентометра



РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОБРАБОТКЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения параметров электромагнитного поля

1. Методика алгоритмической компенсации влияния носителя при изменяющихся параметрах взаимного расположения источника и приемника поля
2. Методика и алгоритмы полного выделения аномальной составляющей поля во временной и в частотной области





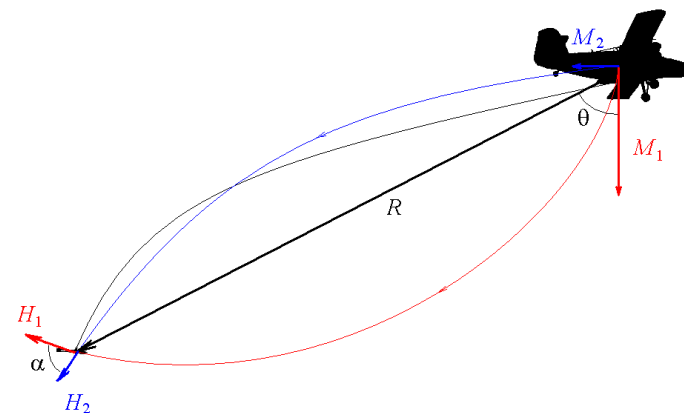
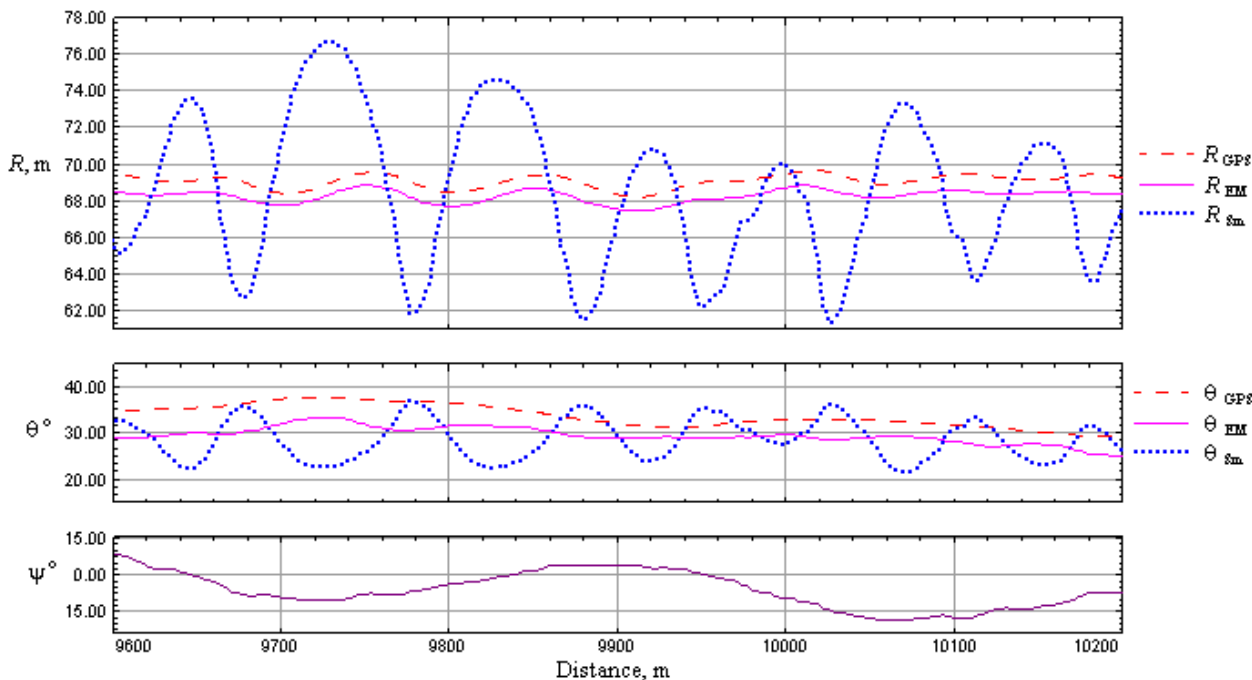
РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОБРАБОТКЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Получено подтверждение теории — единый подход успешно применяется при обработке бортовых измерений пространственных физических полей
2. Теория универсальна: может применяться в любых системах измерения магнитного, гравитационного, электромагнитного поля.
3. На основе этой теории разработаны программные продукты, которые могут применяться (и применяются) для обработки бортовых измерений специалистами всего мира.
4. Развитие данной теории в последнее десятилетие позволило повысить точность бортовых измерений магнитных, гравитационных, электромагнитных систем на порядок.

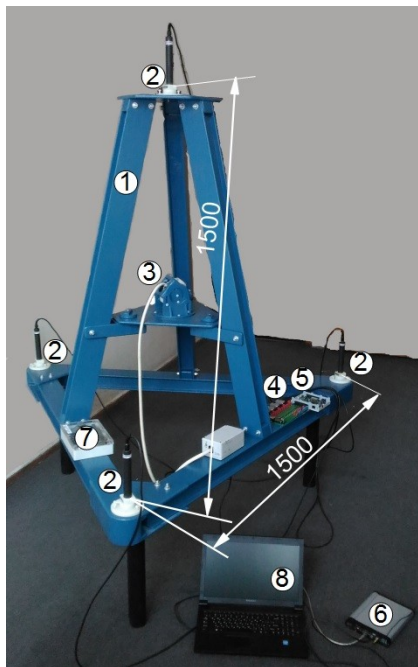
РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Задача относительной навигации по электромагнитным измерениям

1. Алгоритм решения задачи навигации в поле совмещенных источников переменного магнитного поля. Решается в линейной постановке. При дистанции 40-70 метров и мощности источника 10000 Ам^2 точность определения координат — 10 см, точность определения ориентации — 1° .



РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ



Задача относительной навигации по электромагнитным измерениям

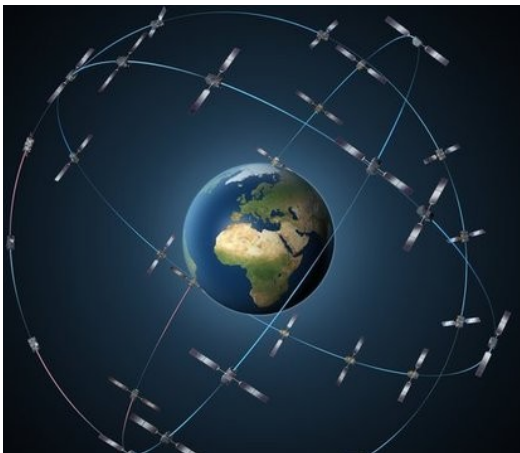
1. Алгоритм решения задачи навигации в поле совмещенных источников переменного магнитного поля. Решается в линейной постановке. При дистанции 40-70 метров и мощности источника 10000 Ам^2 точность определения координат — 10 см, точность определения ориентации — 1° .

2. Алгоритм решения задачи навигации в поле произвольно установленных источников переменного магнитного поля. Решается в нелинейной постановке. При дистанции 5-10 метров и мощности источника 100 Ам^2 точность определения координат — 10 см, точность определения ориентации — 1° .

РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Задача глобальной навигации

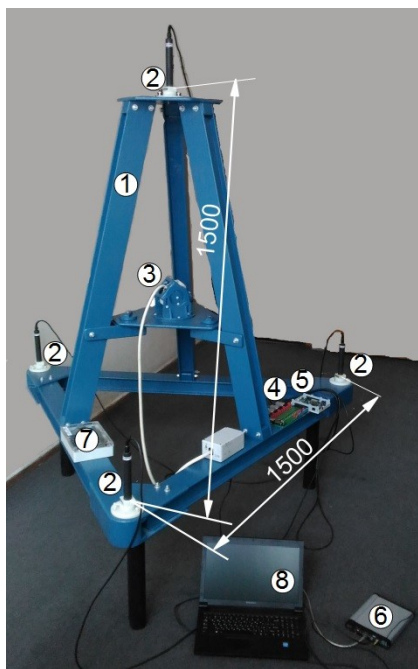
1. Алгоритм решения задачи навигации по измерению вектора индукции магнитного поля на основе нормальной составляющей поля в режиме коррекции ИНС. Точность определения координат — 1 км.
2. Алгоритм решения задачи навигации по измерению градиента индукции магнитного поля на основе аномальной составляющей поля в режиме коррекции ИНС. Точность определения координат — 1-10 м, точность определения ориентации — 0.1-1°.
3. Задача обработки первичных данных спутниковых навигационных систем применительно к задаче авиационной гравиметрии, в т. ч. для неинерциального измерения ускорений, измерение ориентации по многоантенным измерениям. Задача комплексирования ИНС-СНС для всех типов сигналов.



РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

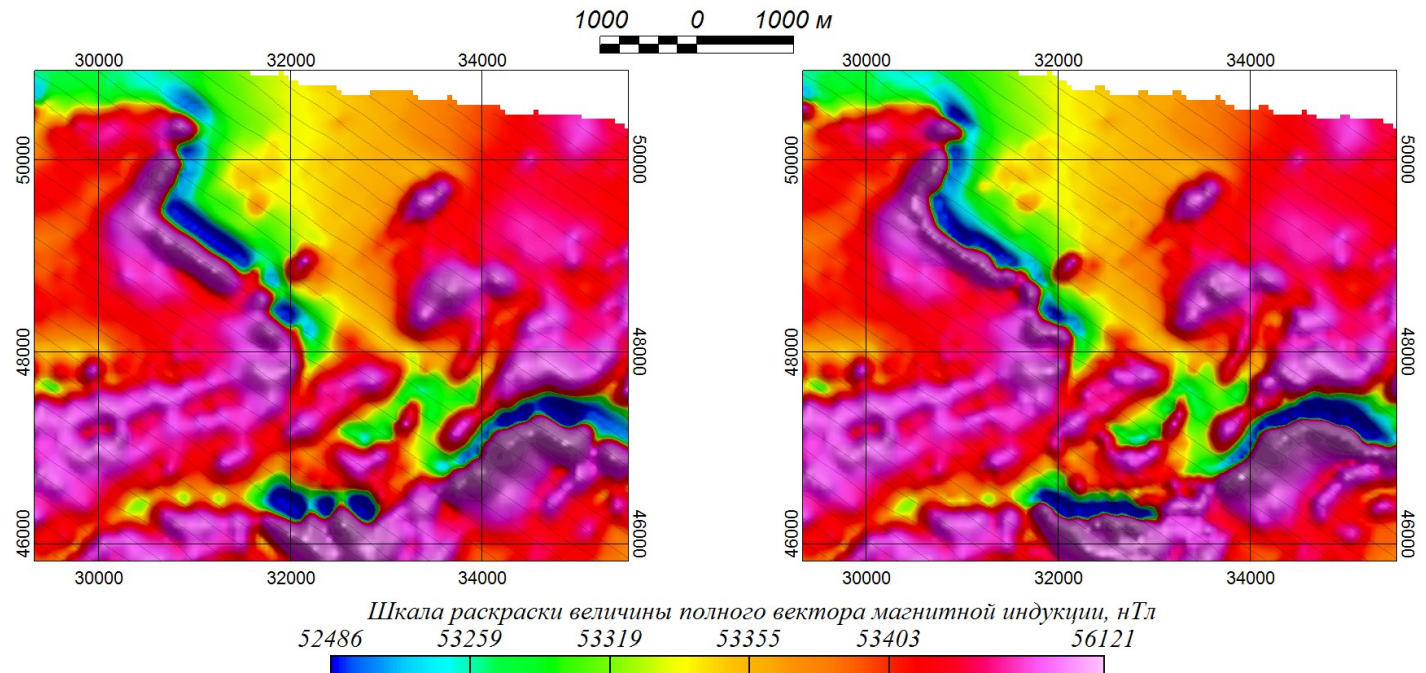
Задачи пеленгации, обнаружения, наведения ...

1. Алгоритм решения задачи пеленгации по измерениям градиента индукции магнитного поля — определение направления на источник.
2. Алгоритм решения задачи определения дистанции по измерениям градиента индукции магнитного поля — определение расстояния до источника.
3. Алгоритм определения дипольного момента источника поля по измерениям градиента индукции магнитного поля.



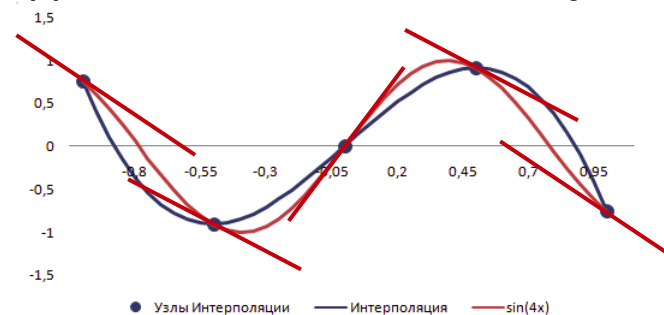
РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ГЕОФИЗИКИ

Применение измерений градиента магнитного поля



без учета градиента

с учетом градиента

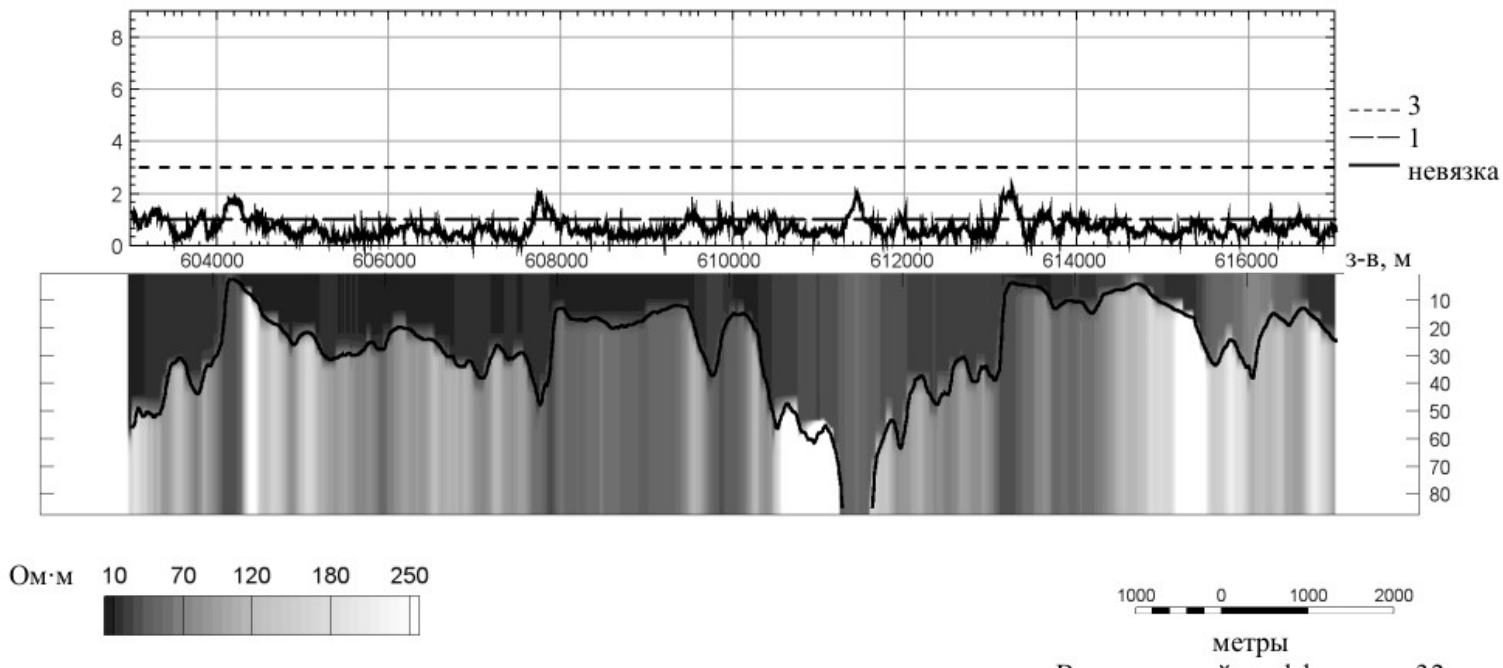




РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ГЕОФИЗИКИ

Решение задачи инверсии геофизических измерений

Определение распределения удельных сопротивлений

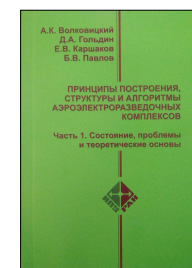
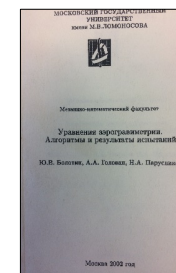


Публикации монографии, статьи, доклады

А.К. Волковицкий — 62

А.А. Голован — 240, защищенных диссертаций — 9

Е.В. Каршаков — 91, защищенных диссертаций — 2



Основные публикации

монографии

1. Бережницкий В.Н. и др. Инерциально-гравиметрический комплекс МАГ-1. Результаты летных испытаний /М.: МГУ, 2001
2. Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А. Уравнения аэрогравиметрии. Алгоритмы и результаты испытаний. /М.: МГУ, 2002
3. Волковицкий А.К. и др. Принципы построения, структуры и алгоритмы аэроэлектроразведочных комплексов: монография в двух частях. /М.: ИПУ РАН, 2013.
4. Волковицкий А.К. и др. Магнитоградиентные измерительные системы и комплексы. Монография в двух томах /М.: ИПУ РАН, 2018.
5. Пешехонов В.Г. и др. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / под редакцией В.Г. Пешехонова, науч. ред. О.А. Степанов / Спб: ЦНИИ «Электроприбор», 2017.



Основные публикации

Статьи WoS/Scopus

1. Y.V. Bolotin, A.A. Golovan. Methods of inertial gravimetry // *Moscow University Mechanics Bulletin*. 68(5):117–125, 2013.
2. A.A. Golovan and N.B. Vavilova. Satellite navigation. Raw data processing for geophysical applications. *Journal of Mathematical Sciences (Betty Jones & Sisters Publishing)*, 146(3):5920–5930, 2007
3. A.A. Golovan et al. Application of GT-2A gravimetric complex in the problems of airborne gravimetry. *Izvestiya - Physics of the Solid Earth*, 54(4):658–664, 2018
4. E.V. Karshakov. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion // *Exploration Geophysics*, to be published in 2019
5. E.V. Karshakov et al. Combined frequency domain and time domain airborne data for environmental and engineering challenges // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 22(1):1-12, 2017
6. V.N. Koneshov et al. An approach to refined mapping of the anomalous gravity field in the earth's polar caps. *Izvestiya - Physics of the Solid Earth*, 49(1):77–79, 2013
7. B.V. Pavlov, A.K. Volkovitskii and E.V. Karshakov. Low frequency electromagnetic system of relative navigation and orientation. *Gyroscopy and Navigation*, 1(3):201-208, 2010
8. Y.L. Smoller et al. Using a multiantenna gps receiver in the airborne gravimeter GT2A for surveys in polar areas. *Gyroscopy and Navigation*, (4):299–304, 2015
9. M.Yu. Tkhorenko et al. Algorithm to position an object moving in the low-frequency electromagnetic field. *Automation and Remote Control*, 76(11):2033-2044, 2015
10. T.A. Vovenko et al. The models and structure of onboard measurements of three-dimensional physical fields. *Automation and Remote Control*, 78(6):1115-1127, 2017



Основные публикации

Статьи

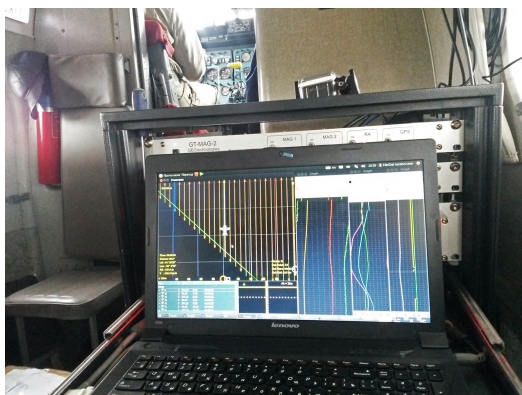
1. Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А. Особенности камеральной обработки в задаче авиационной гравиметрии. // *Разведка и охрана недр.*- 2006.- № 5.- С. 35-38
2. Волковицкий А.К. Измерения физических полей для решения задач управления движением и навигации / *Вопросы оборонной техники. Серия 9.* М.: ФГУП «НТЦ «Информтехника», 2011. Вып. 1(246)-2(247). С. 83-87
3. Волковицкий А.К. и др. Применение магнитоградиентометров для управления магнитным полем подвижного объекта // *Проблемы управления.* 2017. № 2. С. 68-72
4. Волковицкий А.К. и др. Электромагнитная система относительного позиционирования в аэроэлектроразведочных комплексах // *Датчики и системы.* 2013. № 6. С. 44-52
5. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Павлов Б.В. Позиционирование подвижных объектов в низкочастотном электромагнитном поле. Ч. 1. Базовый алгоритм относительного позиционирования // *Проблемы управления.* 2013. № 1. С. 57-62, Ч. 2. Особенности технической реализации // *Проблемы управления.* 2013. № 2. С. 58-64.
6. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Новая вертолетная электроразведочная система «Экватор» для аэрометода переходных процессов // *Записки Горного института.* 2011. Т. 194. С. 154-157
7. Голован А.А., Болотин Ю.В., Парусников Н.А. Результаты испытаний новейших отечественных аэрогравиметрических комплексов // *Разведка и охрана недр.*- 2002.- № 2.- С. 18-20
8. Козак С.З. и др. Комплексирование наземной и вертолетной электроразведки методом переходных процессов при выделении участков, перспективных для бурения на воду (на примере Якутии) // *Инженерные изыскания.*- 2015.- № 10-11.- С. 42-45
9. Павлов Б.В., Волковицкий А.К. Аэроэлектроразведочные измерительные комплексы и пути повышения их эффективности // *Управление большими системами.* 2015. № 54. С. 134-165
10. Подмогов Ю.Г. и др. Применение современных аэрогеофизических технологий для детальных инженерно-геологических изысканий // *Инженерные изыскания.* 2015. № 12. С. 40-47



ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

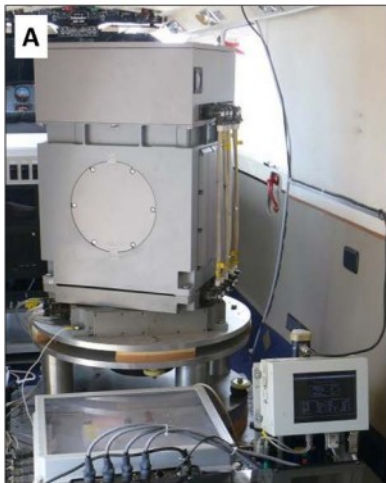


1. Система бортовых измерений модуля индукции и/или компонент вектора градиента модуля индукции ГТ-МАГ (ООО «Геотехнологии»)
2. Макет магнитоградиентной измерительной системы МГИС (ИПУ РАН)
3. Программа компенсации влияния летательного аппарата при аэромагнитных измерениях REINMAG (ООО «Геотехнологии»)
4. Система навигации, сбора и контроля данных аэрогеофизической съемки NAVDAT (ООО «Геотехнологии»)



ИЗМЕРЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

1. Пакет программ обработки данных авиационной гравиметрии (МГУ) для скалярных систем измерения гравитационного поля GT1A, GT2A (ЗАО НТП «Гравиметрические технологии»), Гравитон-М (ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика»), АГК (МИЭА)
2. Пакет программ обработки данных авиационной гравиметрии (МГУ) для векторных систем измерения гравитационного поля GTX (ЗАО НТП «Гравиметрические технологии»)
3. Пакет программ обработки данных спутниковых навигационных систем в стандартном и дифференциальном режимах



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Бортовая электромагнитная система с гармоническим возбуждением EM4H для установки на борту Ан-2, Ан-3, Ми-8 (ООО «Геотехнологии»)
2. Буксируемая электромагнитная система с импульсным возбуждением ЭКВАТОР (ООО «Геотехнологии»)
3. Пакет программ обработки данных системы EM4H (ООО «Геотехнологии»)
4. Пакет программ обработки данных системы ЭКВАТОР (ООО «Геотехнологии»)
5. Пакет программ инверсии электромагнитных данных в частотной и временной области (ООО «Геотехнологии»)



РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОМЕТРИИ

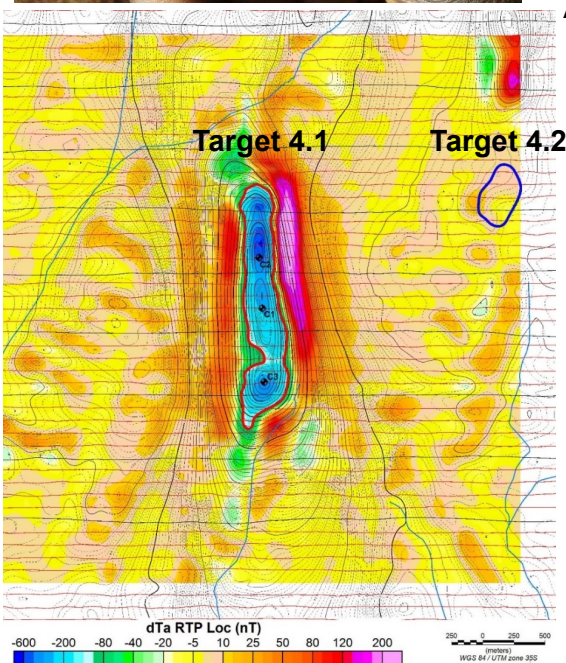


Система ГТ-МАГ применяется для аэромагнитных или комплексных съемок компаниями

- Норильский филиал ВСЕГЕИ
- Вилуйская экспедиция АК Алроса
- НПЦ Геокен
- ООО Геотехнологии

Ведутся масштабные работы в России, Казахстане, Индии, Африке. Наиболее известные:

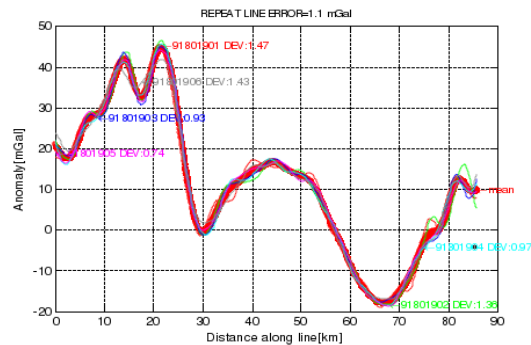
- съемка всего западного Казахстана самолетами Ан-2, Л-410 с применением программы REINMAG для компенсации, около 500 000 пог. км
- съемка на территории Республик Руанда и Ангола в комплексе с электромагнитными исследованиями ЭКВАТОР, вертолет Eurocopter AS350, около 100 000 пог. км
- съемка на территории Индии, самолет Cessna-208, около 200 000 пог. км



РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИМЕТРИИ

Системы GT1A, GT2A, Гравитон-М, АГК применяются для аэрогравиметрических и комплексных съемок компаниями

- ЗАО ГНПП Аэрогеофизика
- НПЦ Геокен
- Институт физики Земли РАН
- Canadian Micro Gravity (Канада),
- Aero Geophysical Survey and Remote Sensing (Китай)
- ...



Ведутся масштабные съемки в России и по всему миру. Наиболее известные работы

- съемки системами GT2A в Арктике 2011-2015 гг., около 1 500 000 км² (более 500 000 пог. км)
- съемки системой GT1A в ЮАР, впервые в мире выполнены съемки с генеральным обтеканием рельефа, 2009 г.



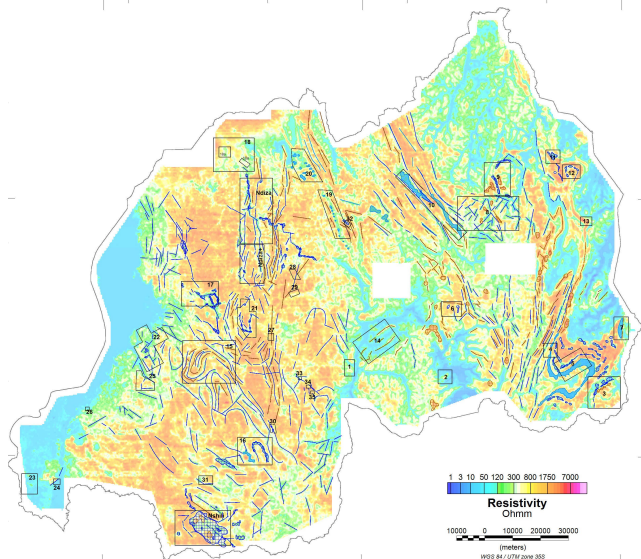
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

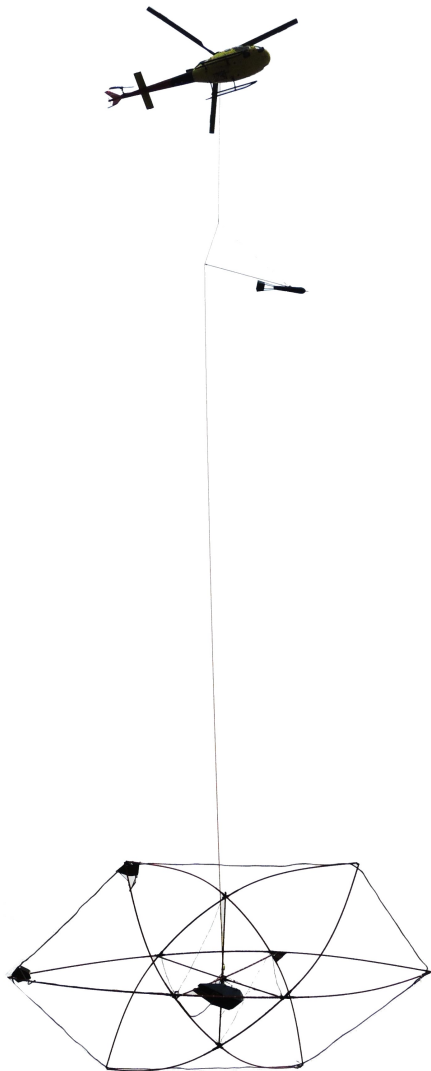
Системы EM4Н, ЭКВАТОР для аэроэлектромагнитных и комплексных съемок используются компаниями

- ЗАО ГНПП Аэрогеофизика
- Норильский филиал ВСЕГЕИ
- Вилюйская экспедиция АК Алроса
- ООО Геотехнологии

Ведутся масштабные съемки в России и в Африке. Наиболее известные работы

- съемки системами EM4Н в России начиная с 2006 г., около 100 000 пог. км, ежегодно (Полярный Урал, Забайкалье, Бурятия, Якутия, ...)
- поиски кимберлитов системой ЭКВАТОР в провинции Китубия Республики Ангола, свыше 90% заверенных аномалий – кимберлитовые трубки
- съемки всей территории Республики Руанда системой ЭКВАТОР





ТЕОРИЯ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.К. Волковицкий¹, А.А. Голован², Е.В. Каршаков¹

1 - Лаборатория динамических информационно-управляющих систем ИПУ РАН

2 - Лаборатория управления и навигации МГУ им. М.В. Ломоносова

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!