ВНИИФТРИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ»

ВНИИФТРИ

«Методы и средства навигации по геофизическим полям Земли»

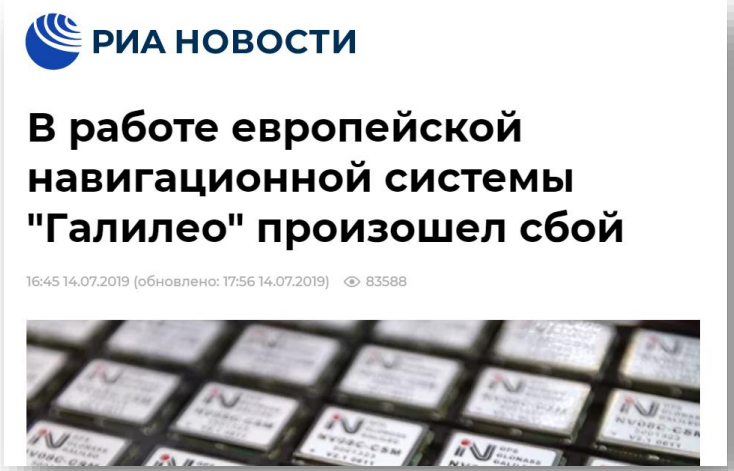
Евгений Александрович Рыбаков

XII Международная научно-практическая конференция
«Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъемка»
11 – 12 февраля 2021г.

Мотивация

Существуют случаи, когда необходимо определение местоположения потребителя, но сигналы спутниковых навигационных систем недоступны.
Например:

1) Внутри горных выработок (штреках);
2) Под водой;
3) На других планетах, например Луне и др.

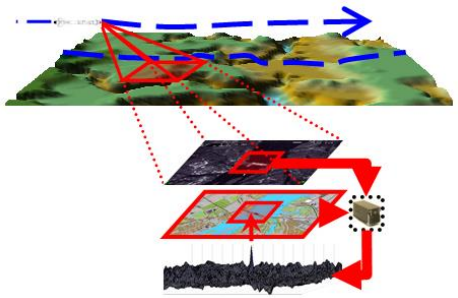


пример: ГНСС GALILEO отключена с 11 июля – 18 июля 2019 г.

Определение местоположения – на основе инерциальной навигационной системы корректируемой

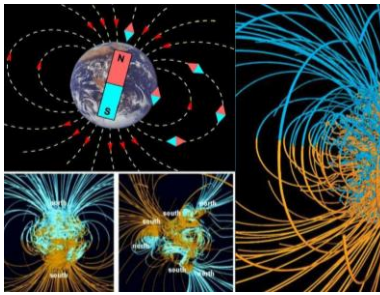
с помощью астронавигации

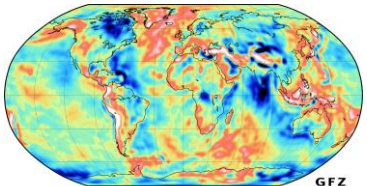
по оптическим изображениям местности



по измерению параметров геофизических полей

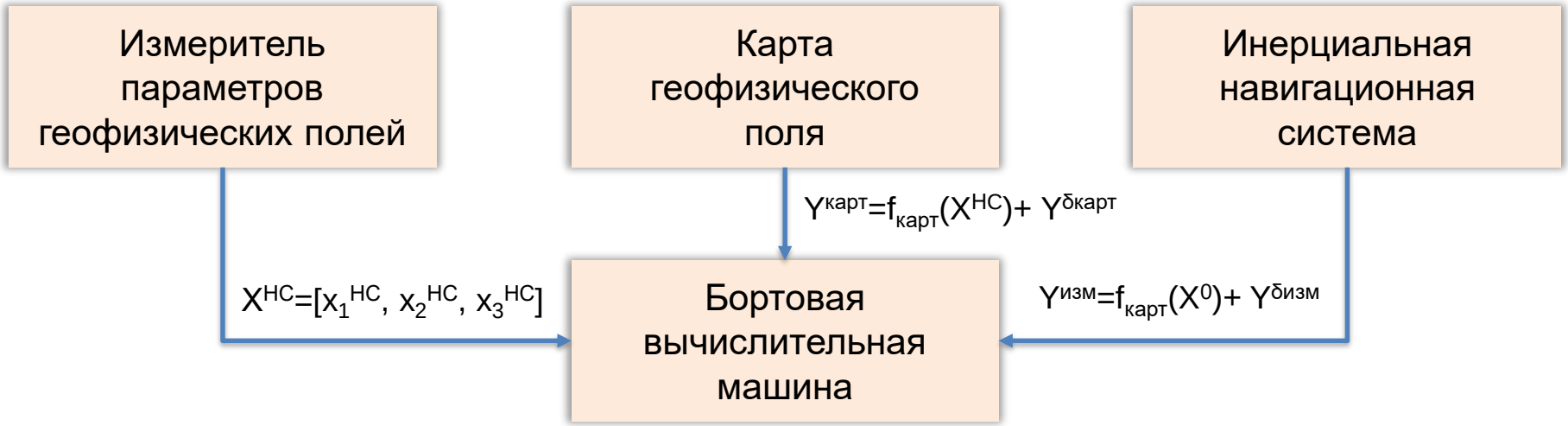
1) Гравитационное
2) Магнитное
3) Тепловое и др.





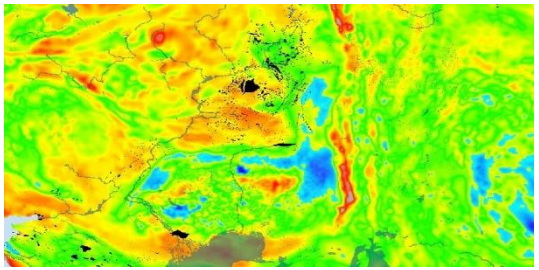
ВНИИФТРИ

Составляющие элементы системы навигации по геофизическим полям



1. Создание карт

Разработка технологий подготовки навигационных карт параметров ГПЗ по маршруту навигации



2. Создание бортовых измерителей

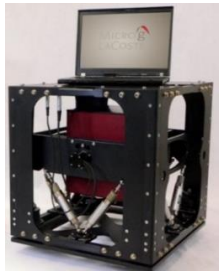
Разработка новых технических средств и технологий измерения текущих значений параметров ГПЗ на борту средства навигации

3. Исследование алгоритмов и исследование особенностей применения

Разработка технологий оценки эффективности гравитационных навигационных систем на основе математического моделирования

Обзор гравиметрических приборов для навигации и подготовки карт

Абсолютные и относительные гравиметры



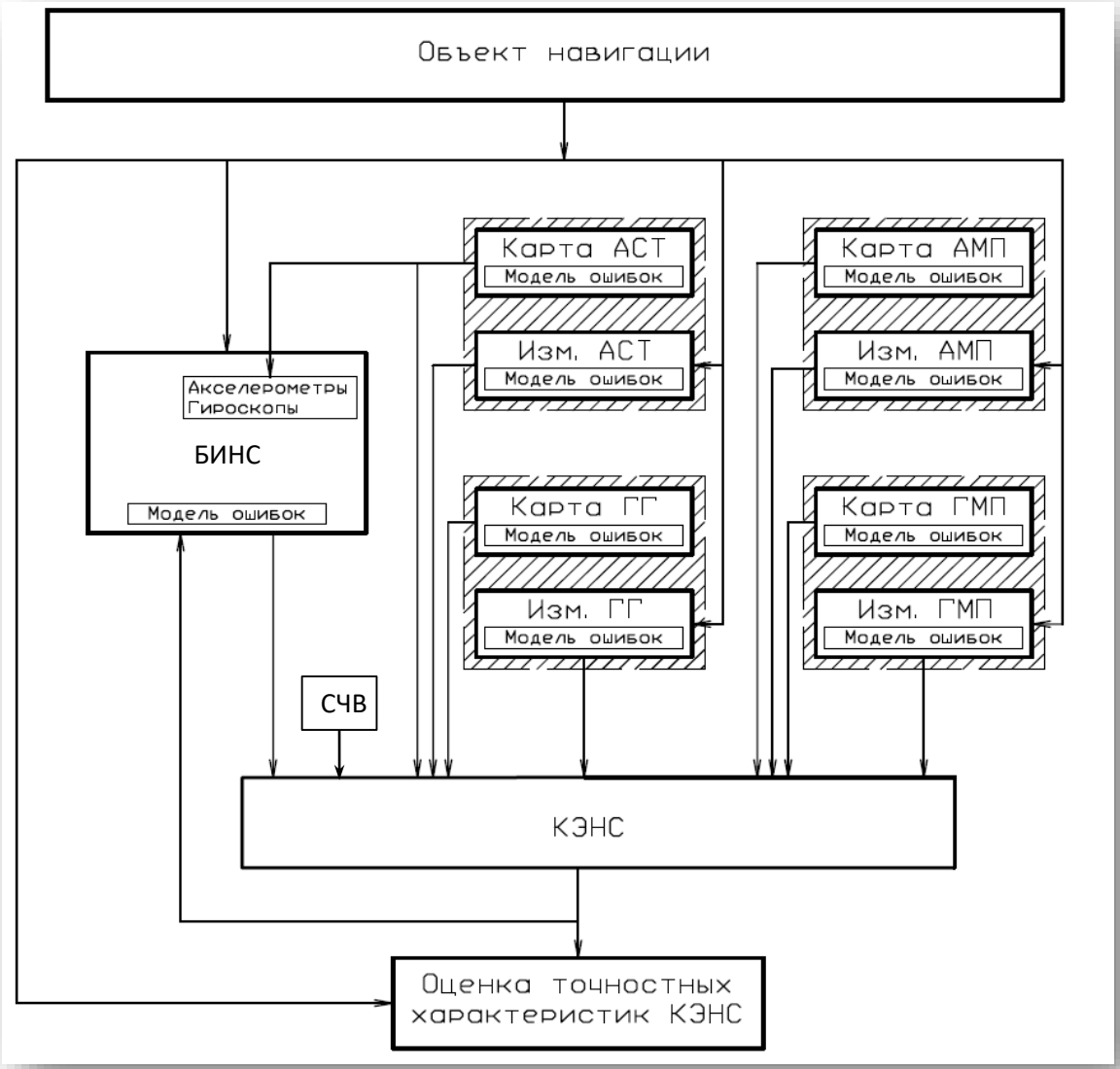
Астроизмеритель уклонения отвесной линии

1. Время единичного измерения **– 6 минут.**
2. Среднее СКО измерений УОЛ **– не более 0,2″**

Гравитационные градиентометры

Год	Предприятие	Тип	Точность, Этвеш
1971-1977	Bell Aerospace / Textron (США)	Дифференциальный	1-10
1978-1982		Дифференциальный трехосноный	-
1980-1982		Бортовая система	-
1987		Дифференциальный	12 -15
1978	GS Draper	Поплавковый градиентометр	
1980	Stanford University	Сверхпроводящий	
	University of Maryland	Одноосный сверхпроводящий	1-20
1990	University of Strathclyde	Дифференциальный с использованием СКВИД	
	Sperry Defense System	В качестве активного элемента градиентометра используется «плавающий» рычаг (гантель)	0,001
	Lockheed Martin	Дифференциальный одноосный AGG и трехосный FTG,	1-10
2002	GEDEX, UWA	Гантельный на СКВИД	1
	JPL	Атомный фонтанного типа	30
	University Birmingham	На атомных чипах	1
	OASense, Inc		10

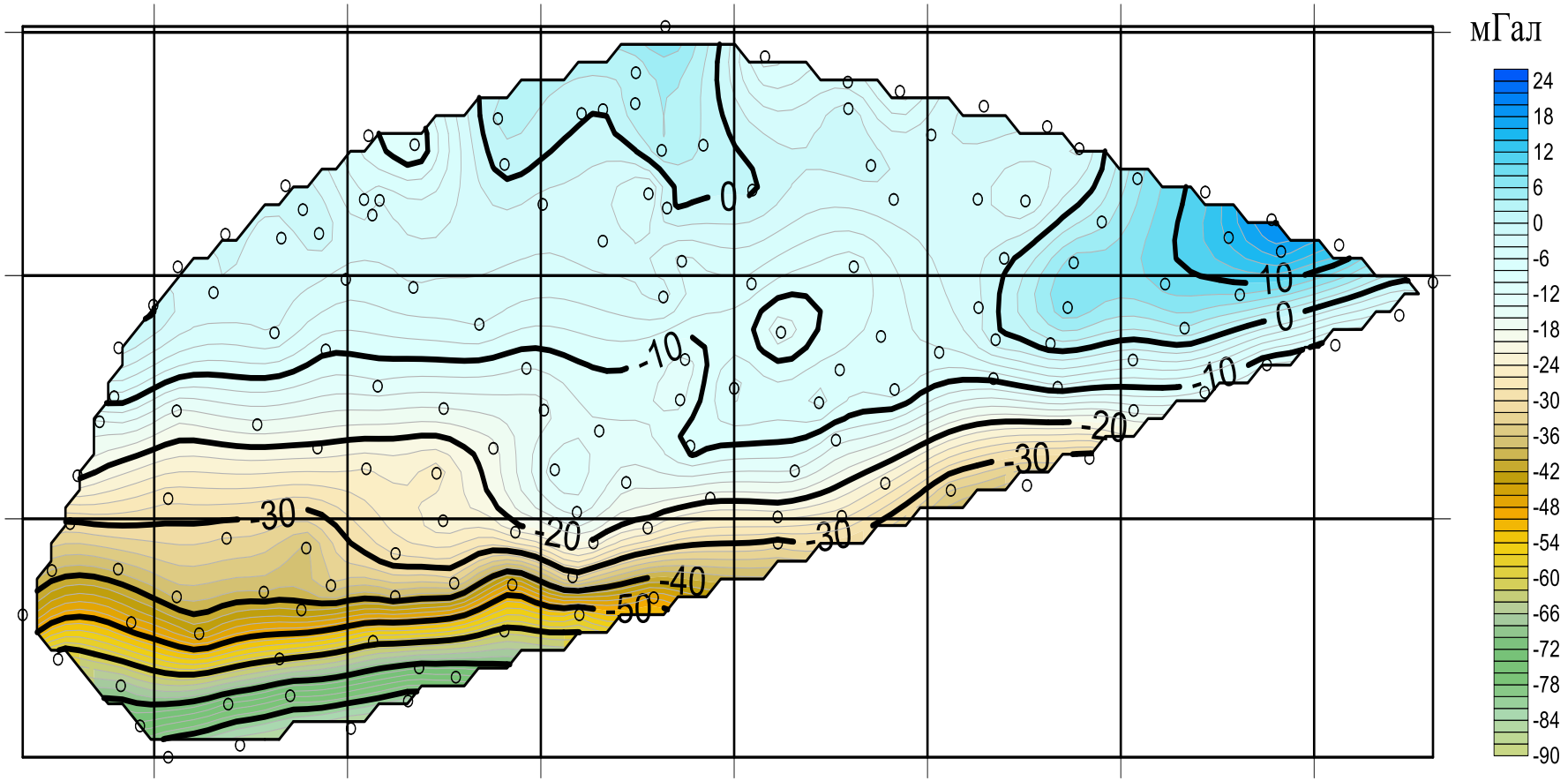
Структурная схема программно-математической модели системы навигации по геофизическим полям



Составные элементы:

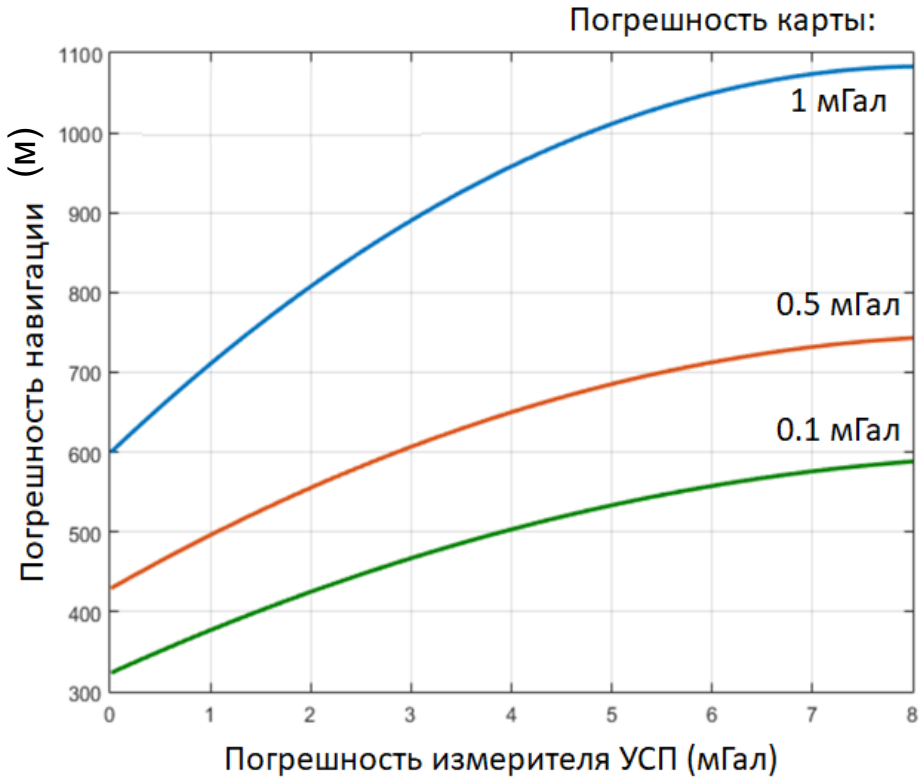
1. **Объект навигации** - формирование траектории движения транспортного средства, формирование по маршруту ускорений и угловых скоростей для работы ИНС
2. **БИНС** - Формирование траектории движения путем интегрального исчисления ускорений и угловых скоростей, формирование зоны поиска в корреляционно-экстремальной системе навигации
3. **Карта + Измеритель аномалий силы тяжести (АСТ)**.
4. **Карта + Измеритель гравитационного градиента (ГГ)**.
5. **Карта + Измеритель аномалий магнитного поля (АМП)**.
6. **Карта + Измеритель градиента магнитного поля (ГМП)**.
7. **СЧВ** – стандарт частоты и времени

Исходные данные для отработки системы навигации по геофизическим полям

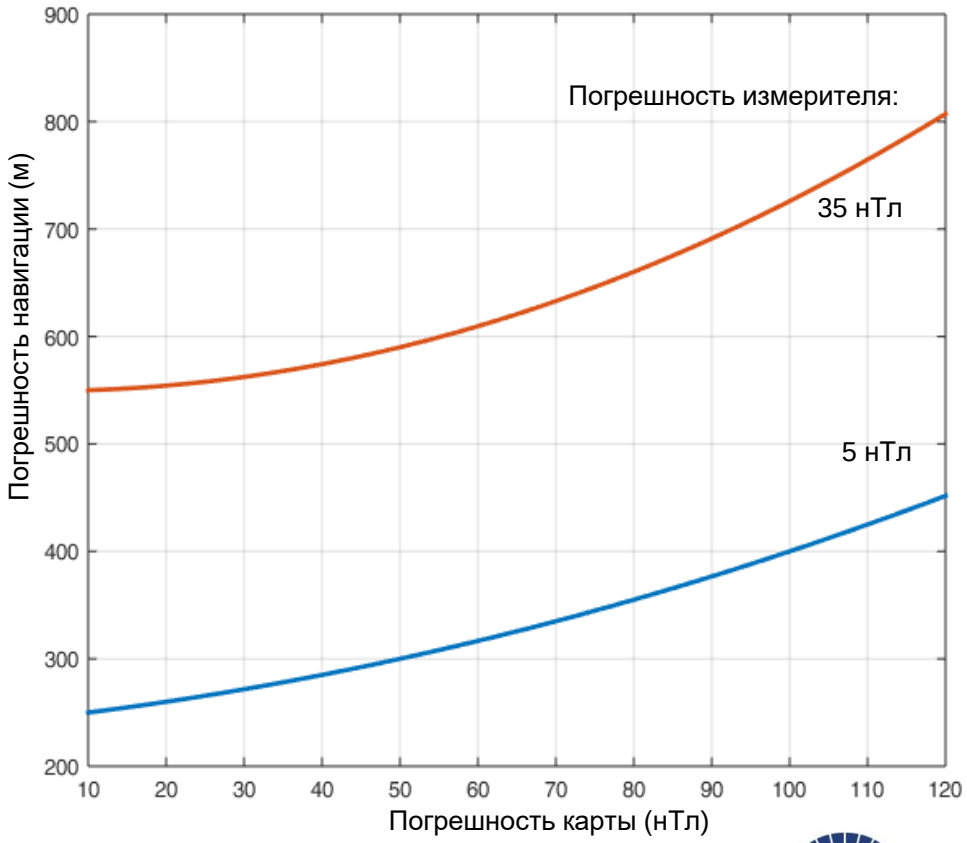


Результаты моделирования системы навигации по ГФП для Московской области

Погрешность системы навигации на основе измерений ускорения свободного падения при различных погрешностях карты

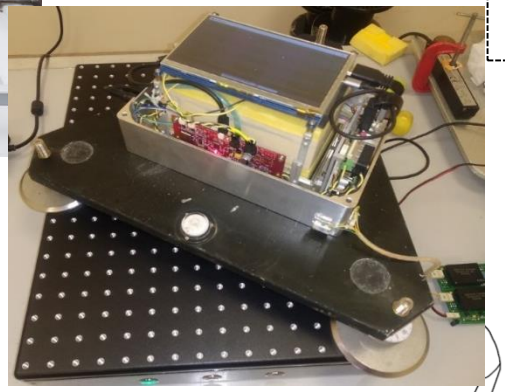


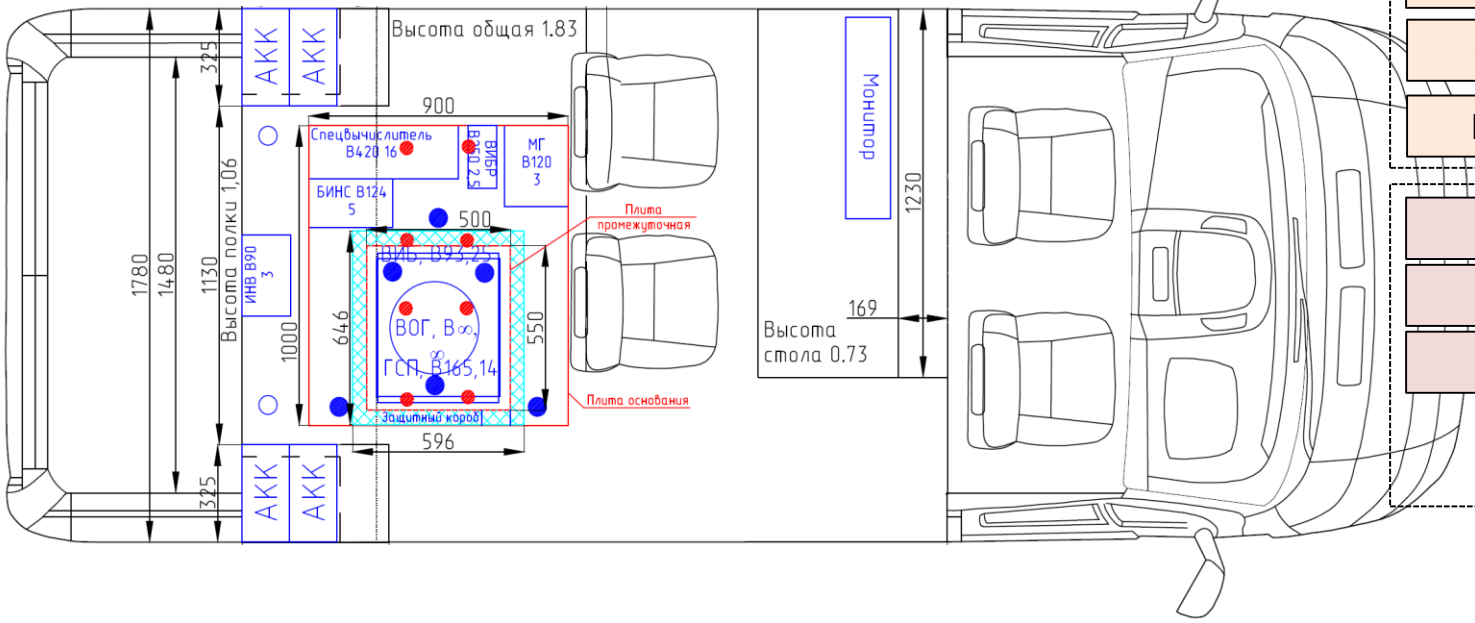
Погрешность системы навигации на основе измерений вектора магнитной индукции при различных погрешностях карты



ВНИИФТРИ

Макет аппаратуры навигации по геофизическим полям





Измерители параметров ГФЗ

- Высокоточный относительный гравиметр
- Градиентометр магнитный

- Инерциальная навигационная система

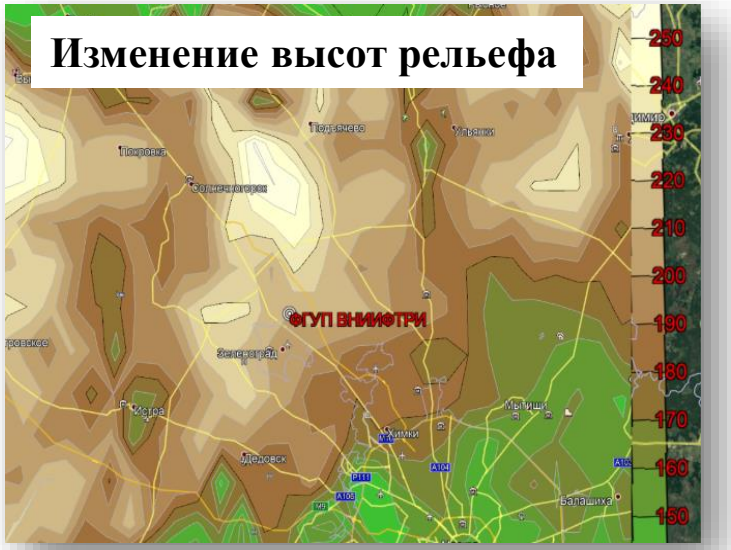
- Станция обработки данных
- Система передачи данных
- Программное обеспечение

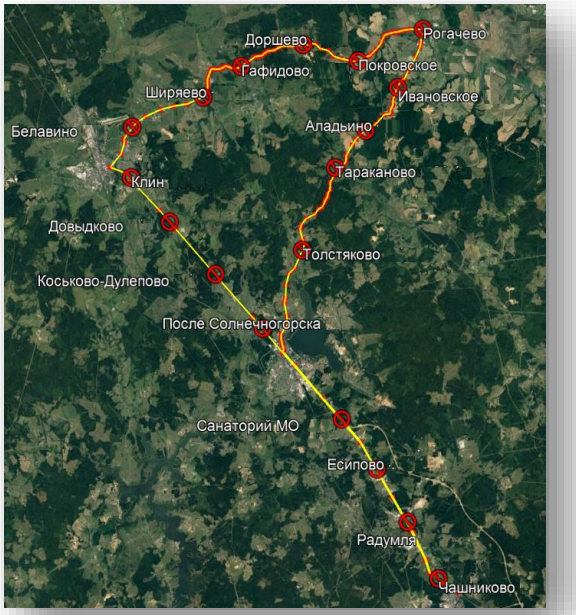
- Инвертор
- Аккумулятор
- Зарядное устройство

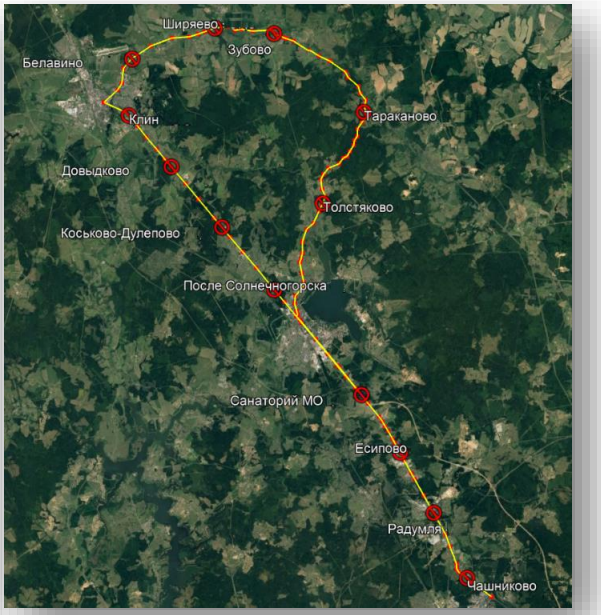
Система бортового электропитания

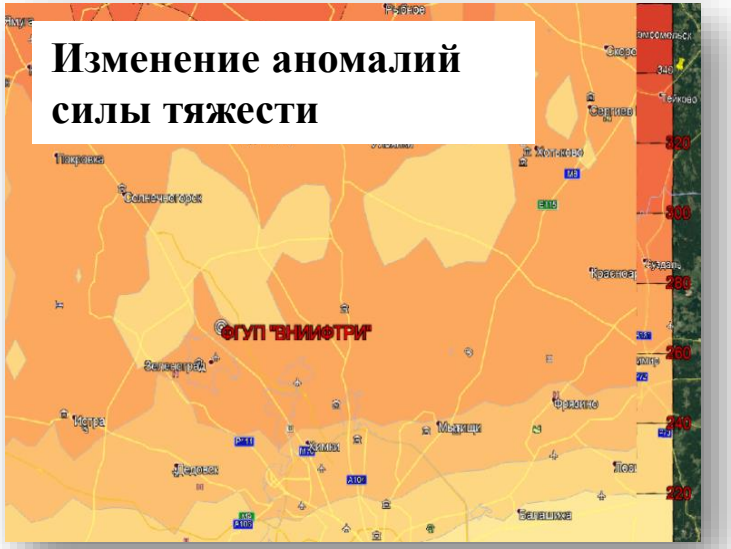
ВНИИФТРИ

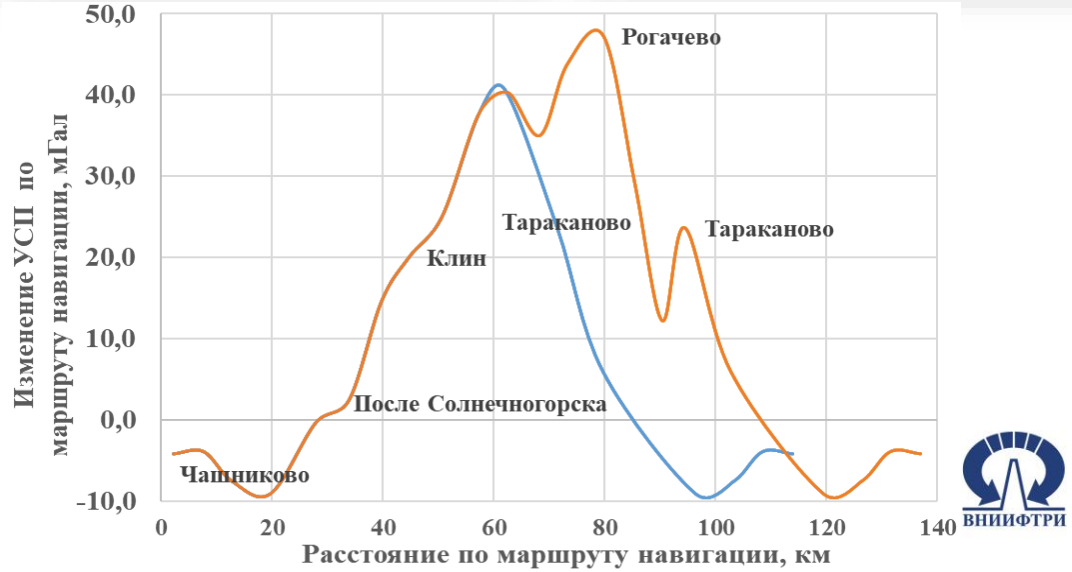
Выбор маршрута и подготовка гравитационной карты







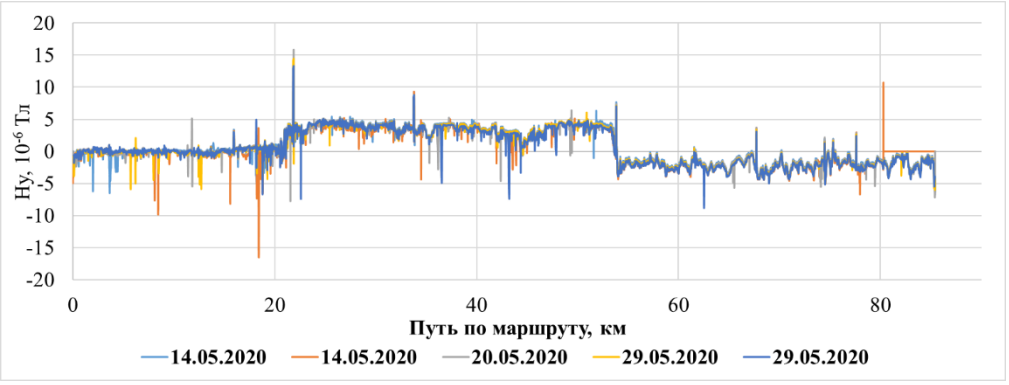




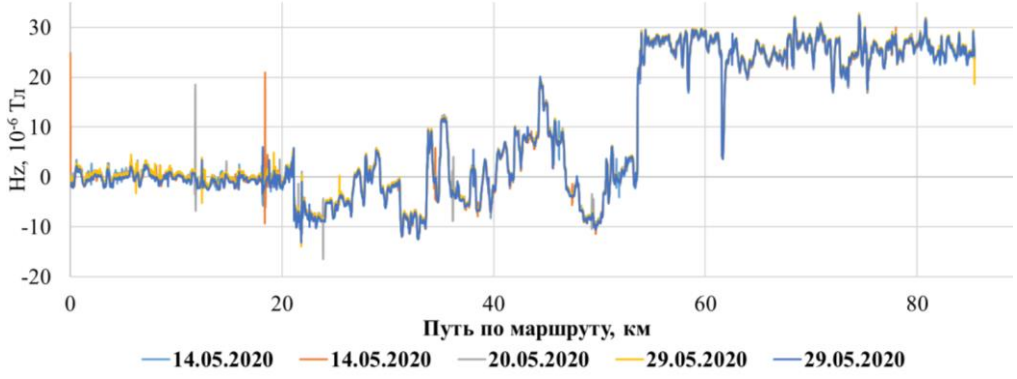
Подготовка карт составляющих вектора магнитной индукции

Составляющая вектора магнитной индукции по оси X

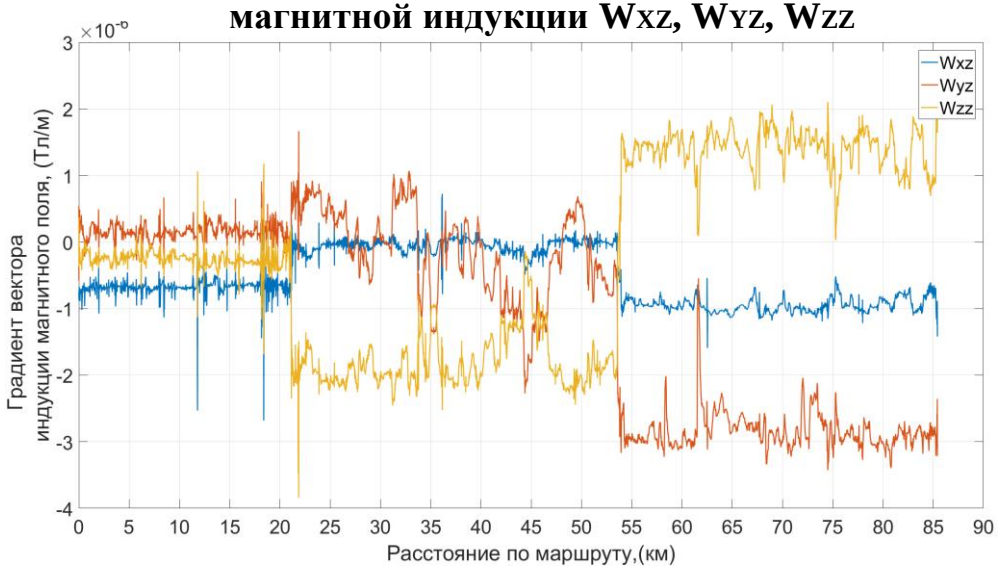
Составляющая вектора магнитной индукции по оси Y



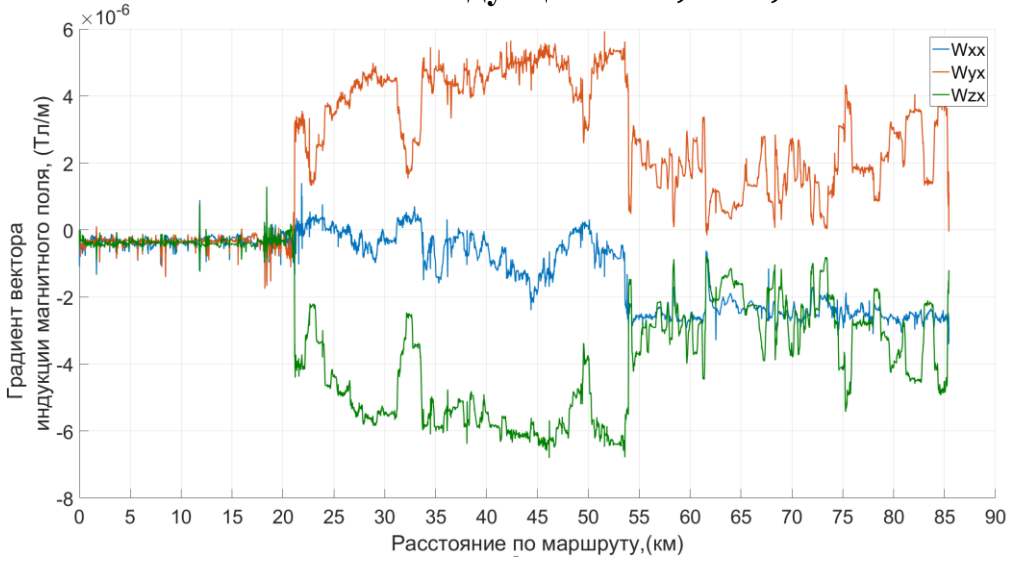
Составляющая вектора магнитной индукции по оси Z



Навигационная карта профиля градиента составляющих магнитной индукции Wxz, Wyz, Wzz

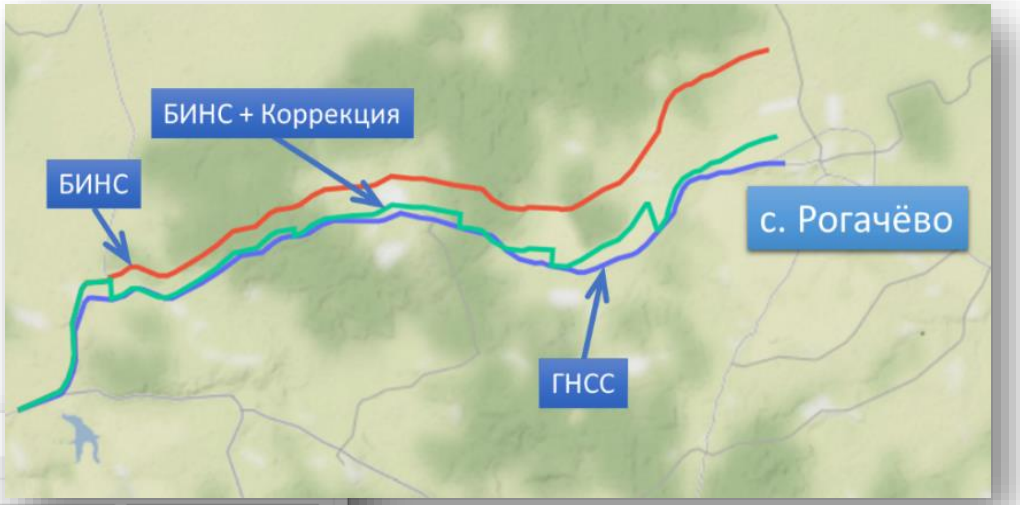


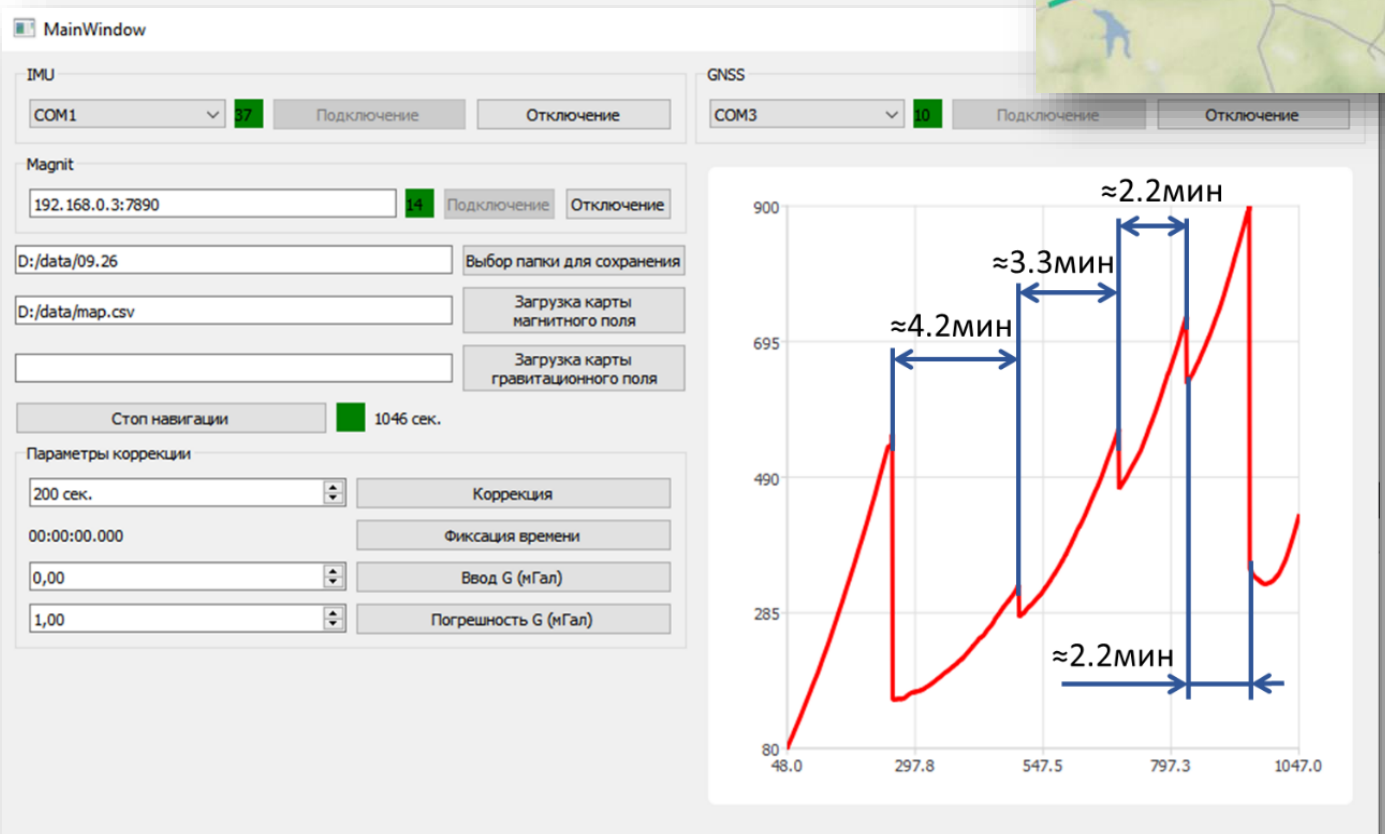
Навигационная карта профиля градиента составляющих магнитной индукции Wxx, Wyx, Wzx



Пример коррекции координат ИНС по маршруту

Участок маршрута движения от г. Клин до с. Рогачево



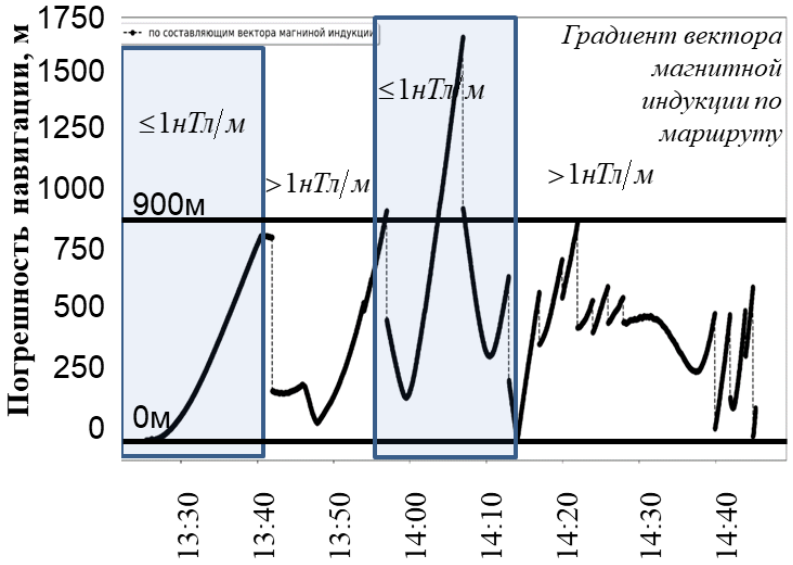


Результаты коррекции ИНС по маршруту движения

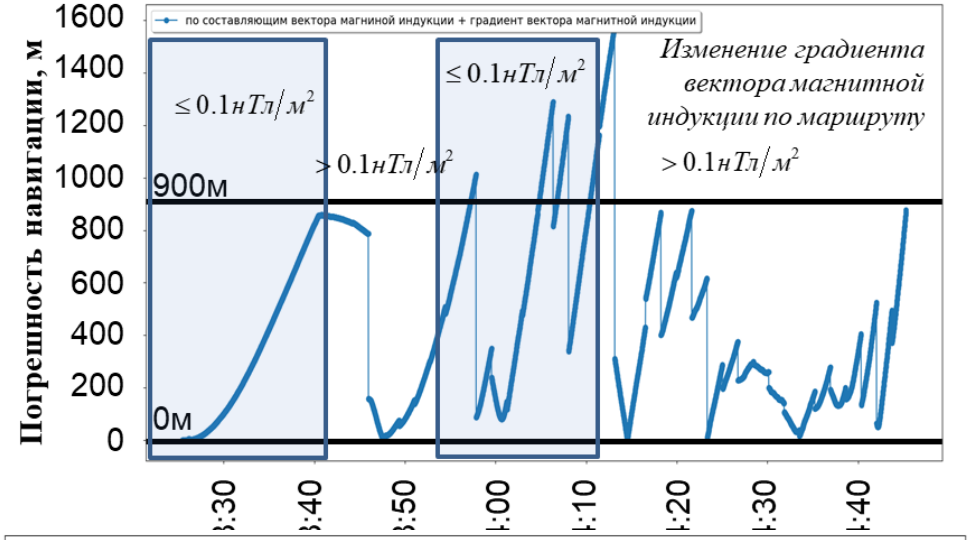
ВНИИФТРИ

Результаты испытаний

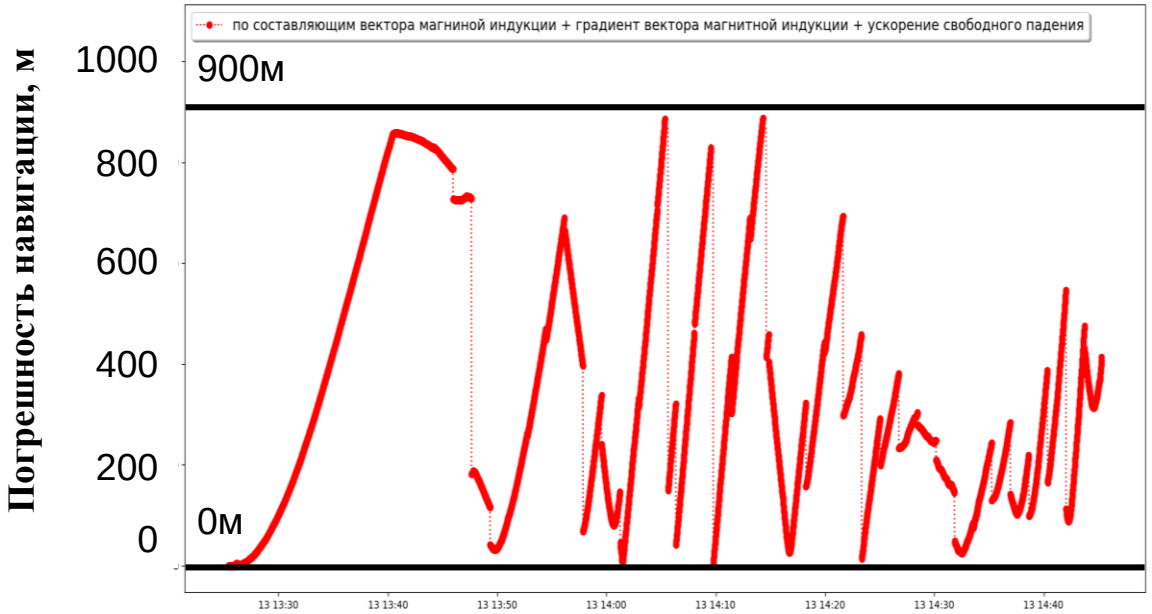
1. по составляющим вектора магнитной индукции



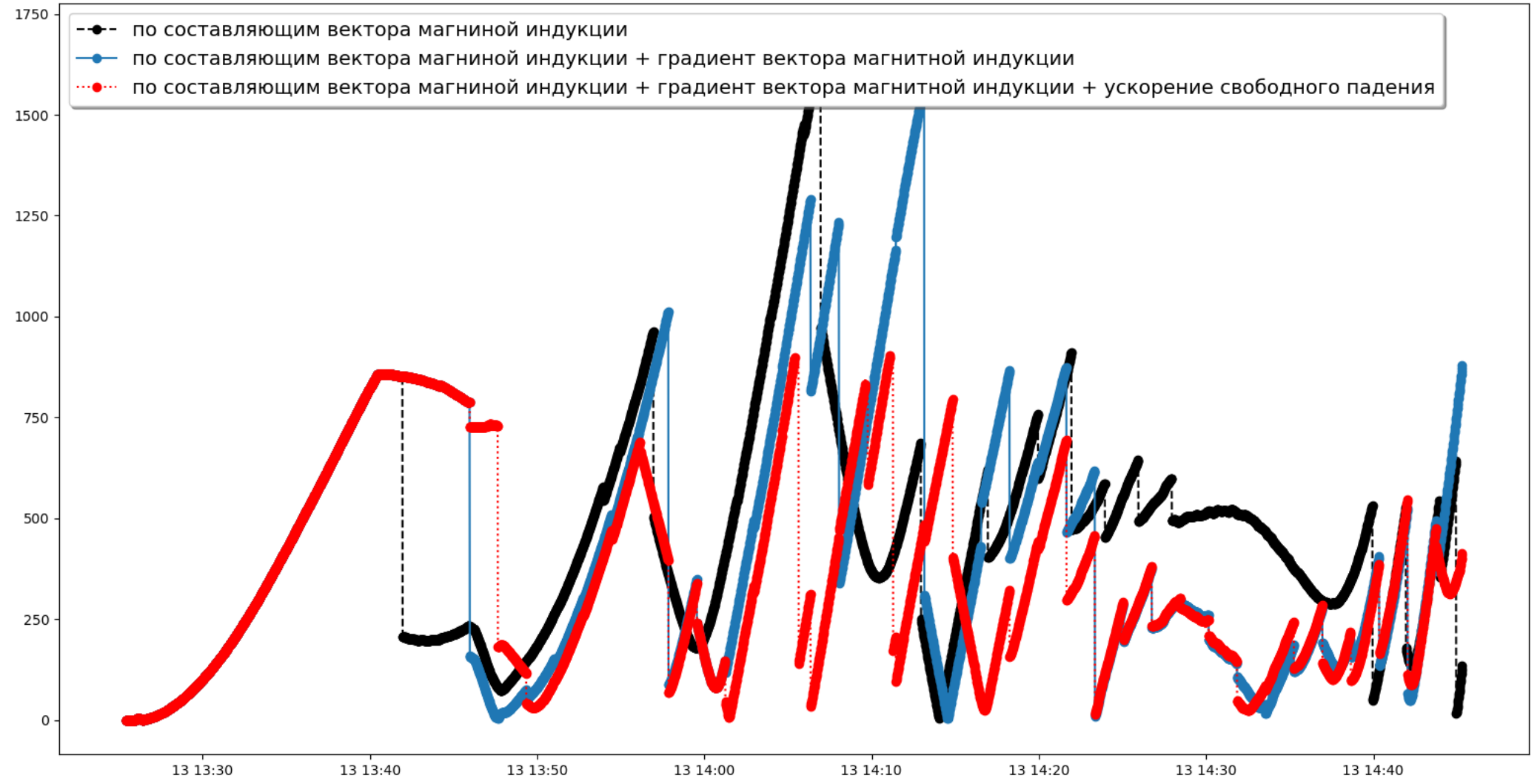
2. по составляющим вектора магнитной индукции + по градиенту вектора магнитной индукции



3. по составляющим вектора магнитной индукции + по градиенту вектора магнитной индукции + по ускорению свободного падения

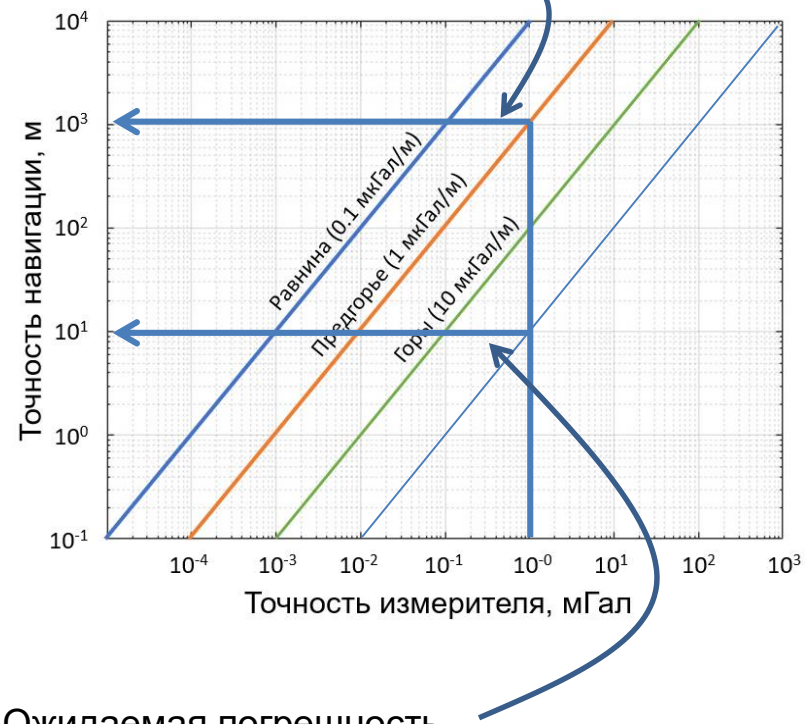


Сравнение результатов испытаний



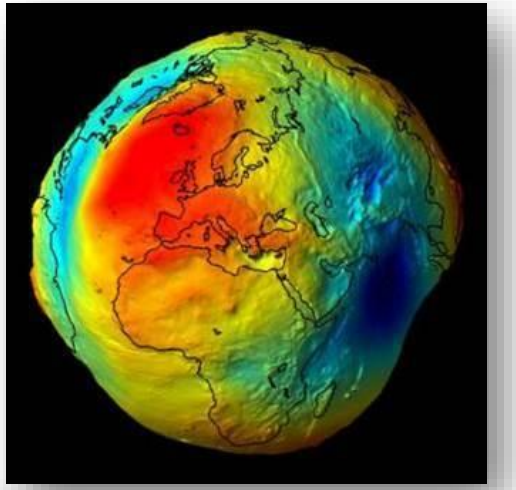
Ожидаемые точности на поверхности Луны

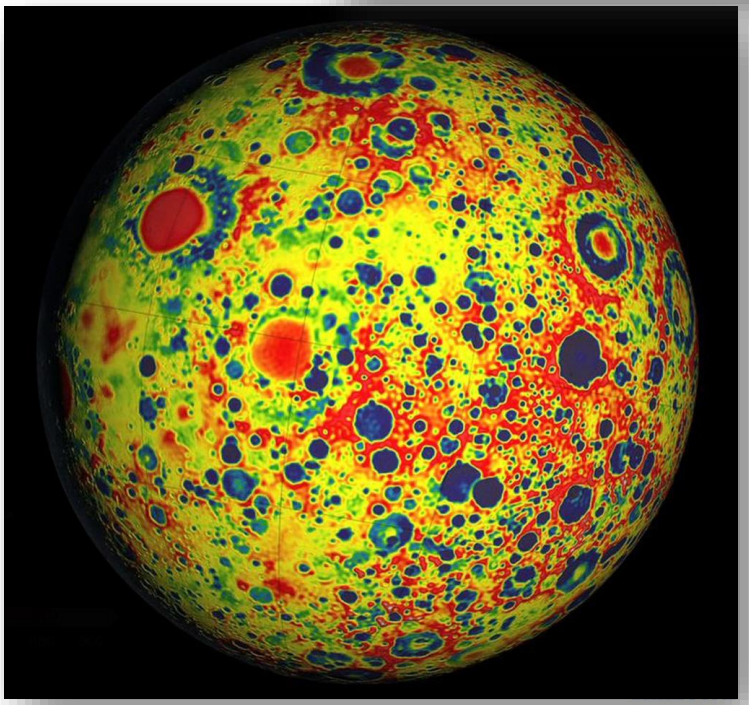
Точность экспериментального макета на поверхности Земли



Ожидаемая погрешность навигации на поверхности Луны

Гравитационное поле Земли





Гравитационное поле Луны

Заключение

1. Создана имитационная модель системы навигации по геофизическим полям коррекции ИНС по физическим полям, использующая измерения ускорения свободного падения и магнитных градиентов.

2. Создан наземный макет аппаратуры потребителя для навигации по физическим полям

Спасибо за внимание