

## Отечественный мобильный гравиметр нового поколения AGP-GRAV

■ Трусов А.А., Контарович О.Р., АО «ГНПП Аэрогеофизика», г. Москва



**АЭРОГЕОФИЗИКА**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

**Аннотация:** В статье представлен новый российский бесплатформенный мобильный гравиметр AGP-GRAV, разработанный ООО «НТЦ Аэрогеофизика» и внедренный в производственную практику АО «ГНПП Аэрогеофизика». Рассмотрены принципы построения прибора, основные инженерные решения, особенности обработки данных и результаты стендовых, летных и производственных испытаний. Показано, что AGP-GRAV обеспечивает точность измерений, соответствующую современному мировому уровню мобильной гравиметрии, и может эффективно использоваться на различных носителях при выполнении комплексных аэрогеофизических работ.

**Ключевые слова:** аэрогравиметрия, мобильная гравиметрия, бесплатформенный гравиметр, инерциальная навигационная система, ГНСС, аномалии силы тяжести, аэрогеофизическая съемка.

### Введение

АО «ГНПП Аэрогеофизика» является одной из ведущих российских компаний в области аэрогеофизических исследований. На протяжении нескольких десятилетий предприятие выполняет комплексные аэрогеофизические работы на территории России и за рубежом, обеспечивая решение широкого спектра геологических задач — от поисков и разведки месторождений полезных ископаемых до регионального геологического картирования и научных исследований труднодоступных территорий.

Одним из ключевых направлений деятельности компании является развитие и внедрение современных аэрогеофизических технологий. В разные годы специалистами предприятия были реализованы масштабные проекты по аэромагнитной съемке, аэрогамма-спектрометрии, аэроэлектроразведке и аэрогравиметрии. Постоянное усложнение геологических задач и повышение требований к качеству геофизической информации обуславливают необходимость совершенствования используемой аппаратуры и

методов обработки данных.

Аэрогравиметрия занимает особое место среди аэрогеофизических методов. Аномалии гравитационного поля несут информацию о распределении плотностей в земной коре и позволяют эффективно решать задачи поисков углеводородов, рудных месторождений, изучения глубинного строения геологических объектов и построения геоидных моделей.

При этом измерение силы тяжести с борта подвижного носителя остается одной из наиболее сложных задач прикладной геофизики. Полезный сигнал величиной единицы-десятки миллигал необходимо выделять на фоне ускорений летательного аппарата, превышающих его на несколько порядков. Решение этой задачи требует применения высокоточных инерциальных датчиков, современных спутниковых навигационных технологий и специализированных алгоритмов обработки.

В течение многих лет российская отрасль успешно использовала платформенные аэрогравиметры отечественного производства. Однако развитие инерци-

альной техники и вычислительных технологий привело к появлению нового поколения бесплатформенных систем. Создание отечественного мобильного гравиметра AGP-GRAV стало закономерным этапом развития российской школы аэрогравиметрии и важным шагом на пути обеспечения технологической независимости отрасли.

### Принципы работы мобильного гравиметра

Современные мобильные гравиметры принято разделять на платформенные и бесплатформенные системы.

Платформенные гравиметры используют гиросtabilизированную платформу, обеспечивающую сохранение ориентации чувствительного элемента относительно местной вертикали. Такой подход долгое время являлся основным решением в аэрогравиметрии благодаря высокой точности и отработанности технологии.

Однако платформенные системы обладают рядом известных ограничений: значительными массогабаритными характеристиками, высоким энергопотреблением, сложностью технического обслуживания и ограничениями при работе в условиях интенсивного маневрирования.

В бесплатформенных системах механическая стабилизация отсутствует. Вместо нее используются высокоточные инерциальные измерительные блоки и спутнико-

вые навигационные системы. Определение ориентации прибора и параметров движения выполняется алгоритмически на основе совместной обработки данных ИНС и ГНСС.

Преимуществами бесплатформенной архитектуры являются компактность, возможность установки на различные типы носителей, работа в сложных динамических условиях и более высокая технологическая гибкость. Именно эти качества сделали бесплатформенные системы основным направлением развития мировой мобильной гравиметрии.

### Обзор существующих решений

История отечественной аэрогравиметрии связана с разработкой платформенных систем семейства «Гравитон», GT-1A, GT-2A и GT-2M, а также аэроморских гравиметров серии «Чекан». Эти комплексы широко применялись при выполнении нефтегазопроисловых работ и региональных исследований.

На мировом рынке наибольшее распространение получили платформенные системы AIRGrav (Канада) и TAGS-7 (США). Примеры наиболее известных платформенных аэрогравиметров приведены на рис. 1.

Развитие высокоточных акселерометров, волоконно-оптических гироскопов и технологий спутниковой навигации позволило создать новое поколение бесплатформенных приборов. Наиболее извест-

▼ Рис. 1. Примеры платформенных аэрогравиметров: ГРАВИТОН-М, GT-3A, AirGrav.





▲ Рис. 2. Разработка гравиметра AGP-GRAV: первая модель, лабораторные испытания, калибровка на стенде, испытания рабочего макета на самолете.

тным коммерческим решением последних лет стала линейка iCORUS компании iMAR Navigation (Германия), которая фактически стала отраслевым ориентиром для сравнения современных платформенных систем.

### **AGP-GRAV — новая отечественная разработка. История проекта**

Разработка AGP-GRAV началась в ООО «НТЦ Аэрогеофизика» в 2020 году. В проекте был использован многолетний опыт создания платформенных аэрогравиметров серии GT, а также современные достижения в области инерциальной навигации и цифровой обработки данных.

Существенный вклад в создание математического обеспечения внесли специалисты лаборатории управления и навигации МГУ имени М.В. Ломоносова.

В период с 2020 по 2022 год были выполнены проектирование системы и изготовление опытных образцов. В 2021–2023 годах проводились стендовые и летные испытания. С 2024 года прибор используется при выполнении производственных аэрогеофизических работ.

Основные этапы разработки и испытаний AGP-GRAV представлены на рис. 2. Внешний вид серийного образца показан на рис. 3.

### **Концепция и архитектура**

AGP-GRAV представляет собой аппаратно-программный комплекс, включающий

инерциальный измерительный модуль навигационного класса точности, много-частотный геодезический ГНСС-приемник, систему термостабилизации, систему регистрации данных и специализированное программное обеспечение.

Принципиальной особенностью комплекса является тесная интеграция аппаратной части и алгоритмов обработки. Итоговое гравиметрическое решение формируется только после комплексной обработки данных инерциальных датчиков и спутниковой навигации.

### **Ключевые инженерные решения**

Одним из основных отличий AGP-GRAV является применение двух независимых триад акселерометров.

Такое решение обеспечивает резервирование измерений и позволяет повысить точность определения аномалий силы тяжести за счет совместной обработки данных.

▲ Рис. 3. Внешний вид мобильного гравиметра AGP-GRAV.







▲ Рис. 4. Мобильный гравиметр AGP-GRAV, установленный на разных носителях: вертолет Ми-8, самолет Ан-2, самолет Цесна-206, морское судно.

Особое внимание уделено термостабилизации чувствительных элементов. В приборе реализована двухконтурная система поддержания температуры, обеспечивающая высокую стабильность характеристик акселерометров в течение продолжительных съемочных работ.

Конструкция прибора ориентирована на эксплуатацию на различных типах носителей и предусматривает устойчивость к вибрационным нагрузкам, компактность и удобство обслуживания.

### Обработка данных

Обработка данных AGP-GRAV включает несколько последовательных этапов.

Первоначально выполняется контроль качества первичных измерений и диагностика работы аппаратуры.

Затем рассчитываются высокоточные навигационные решения на основе обработки спутниковых измерений в фазодифференциальном режиме.

На следующем этапе производится комплексирование данных ИНС и ГНСС с определением параметров движения носителя и компенсацией инструментальных погрешностей.

Для расчета аномалий силы тяжести используются специализированные алгоритмы фильтрации и оценивания параметров, основанные на применении фильтра Калмана. Завершающим этапом является построение цифровых моделей поля силы тяжести и устранение остаточных помех.

### Результаты испытаний

AGP-GRAV прошел программу испытаний на различных типах носителей, включая самолеты Ан-2, Cessna 208, Ан-3Т, вертолеты Ми-8 и AS350, а также морские суда. Примеры установки прибора приведены на рис. 4.

Сравнительные испытания с платформенным аэрогравиметром GT-2A показали высокую степень совпадения получаемых результатов.

Схема совместных испытаний и пример сопоставления данных представлены на рис. 5 и 6.

Особый интерес представляли сравнительные испытания с системой iCORUS. Работы проводились в рамках опытно-методического проекта, организованного ФГБУ «ВНИГНИ». Компонировка оборудования на борту самолета приведена на рис. 7.

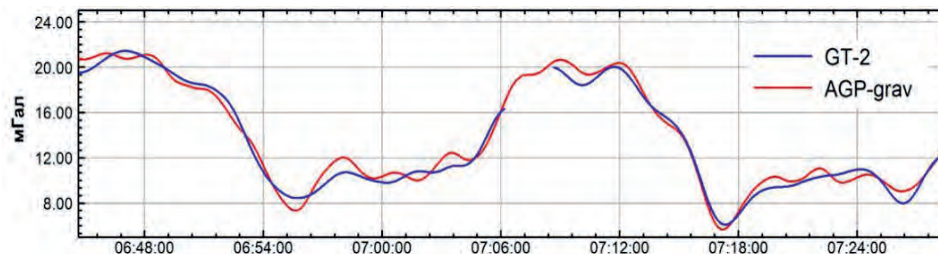
Анализ повторных измерений показал высокую стабильность результатов AGP-



▲ Рис. 5. Сравнение мобильных гравиметров: бесплатформенного AGP-GRAV и платформенного GT-2A.



► Рис. 6. Сравнение измерений вдоль маршрута: AGP-GRAV и GT-2A.



GRAV. Примеры повторных измерений для AGP-GRAV и iCORUS представлены на рис. 8, а экспертиза полевых материалов и результатов камеральной обработки измерений выполнялась независимо специалистами Института физики Земли РАН, Механико-математического факультета МГУ и ФГБУ "ВНИГНИ". В их заключении отмечается лучшая точность измерений AGP-GRAV по сравнению с iCORUS. Технические ограничения платформенного гравиметра "Чекан-АМ" не позволили ему полноценно работать в динамических условиях.

Испытания AGP-GRAV в морских условиях подтвердили работоспособность прибора при воздействии качки и значительных динамических нагрузок. Получен-

ные результаты продемонстрировали высокую устойчивость системы и хорошую разрешающую способность при морской съемке. Результаты повторных измерений по одному из галсов показаны на рис. 9.

### Практическое применение

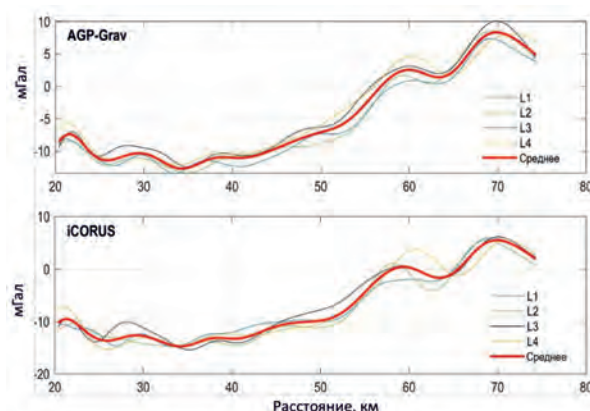
Главным преимуществом бесплатформенной архитектуры является возможность выполнения комплексных аэрогеофизических работ без ограничений по режиму полета. AGP-GRAV может использоваться совместно с аэромагнитометрией, аэроэлектроразведкой и аэрогамма-спектрометрией при детальном огибании рельефа.

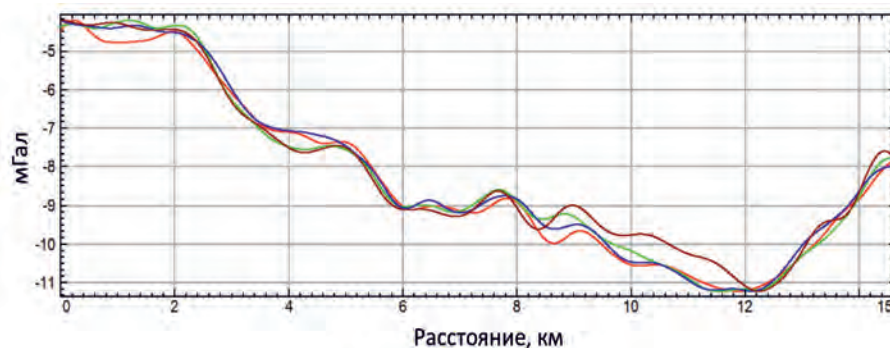
Практическая эксплуатация мобильно-

▼ Рис. 7. Сравнение нескольких мобильных гравиметров: бесплатформенного AGP-GRAV и iCORUS, а также платформенного Чекан-АМ.



► Рис. 8. Сравнение повторных измерений вдоль маршрута: данные AGP-GRAV (вверху), данные iCORUS (внизу).





◀ Рис. 9. Результаты повторных измерений по одному из галсов.

го гравиметра AGP-GRAV началась после завершения комплекса стендовых и летных испытаний. В настоящее время прибор используется в составе многометодных аэрогеофизических комплексов АО «ГНПП Аэрогеофизика» при выполнении производственных работ на территории России и за рубежом.

Выполненные проекты охватывают широкий круг геологических задач — от поисков твердых полезных ископаемых до нефтегазопромысловых работ и геологического картирования труднодоступных территорий. В частности, аэрогравиметрические исследования с применением AGP-GRAV проводились в Якутии на объектах, перспективных на золото, железные руды, марганец и алмазы, а также на нефтегазопромысловых площадях Урала и Западной Сибири.

Особенно эффективно использование AGP-GRAV в составе комплексных аэрогеофизических технологий, когда одновременно выполняются аэромагнитная съемка, электроразведочные исследования и гамма-спектрометрия. Возможность работы в режиме детального огибания рельефа позволяет получать согласованные по пространственному разрешению наборы геофизических данных, существенно повышающие достоверность геологической интерпретации. Пример результатов комплексной аэрогеофизической съемки в Якутии приведен на рис. 10, а результаты работ на Южно-Иусском участке — на рис. 11.

Отдельным направлением применения AGP-GRAV стали исследования в трудно-

доступных регионах, где использование наземных методов ограничено или территориям нецелесообразно. К таким объектам относятся районы Антарктиды, где аэрогравиметрия являясь одним из основных методов регионального геологического изучения, не выполнялась с 70-х гг. прошлого века из-за отсутствия мобильных гравиметров, которые могли бы быть установлены на легкие воздушные носители. Пример выполненных работ приведен на рис. 12.

Работы выполнялись совместно с ФГБУ "ВНИИОкеангеология".

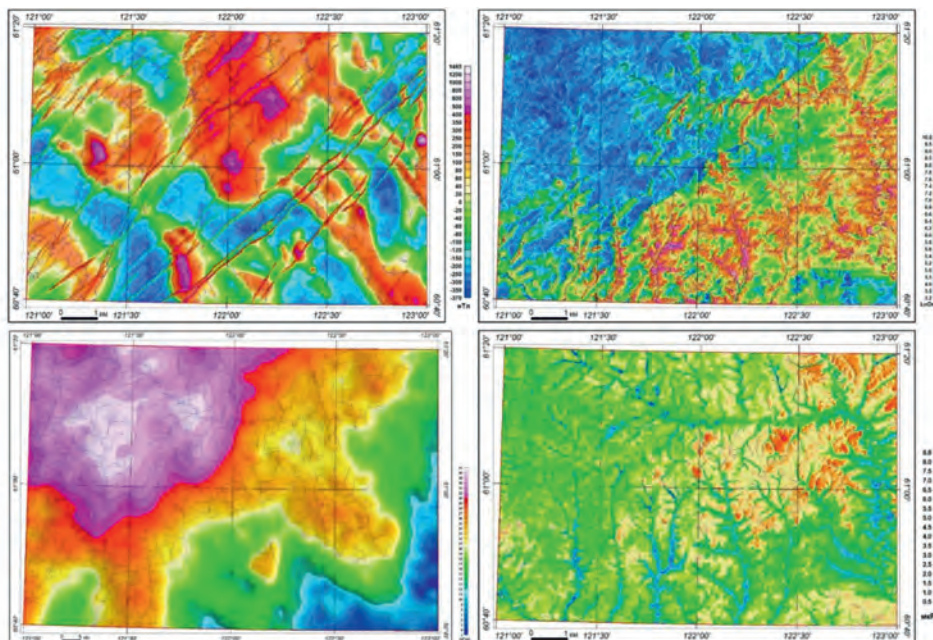
Опыт производственной эксплуатации показал высокую надежность прибора и устойчивость результатов в различных природно-климатических условиях. Полученные материалы характеризуются высокой повторяемостью и обеспечивают получение качественных моделей гравитационного поля, пригодных для решения как поисковых, так и региональных геологических задач.

### Перспективы развития отечественной технологии

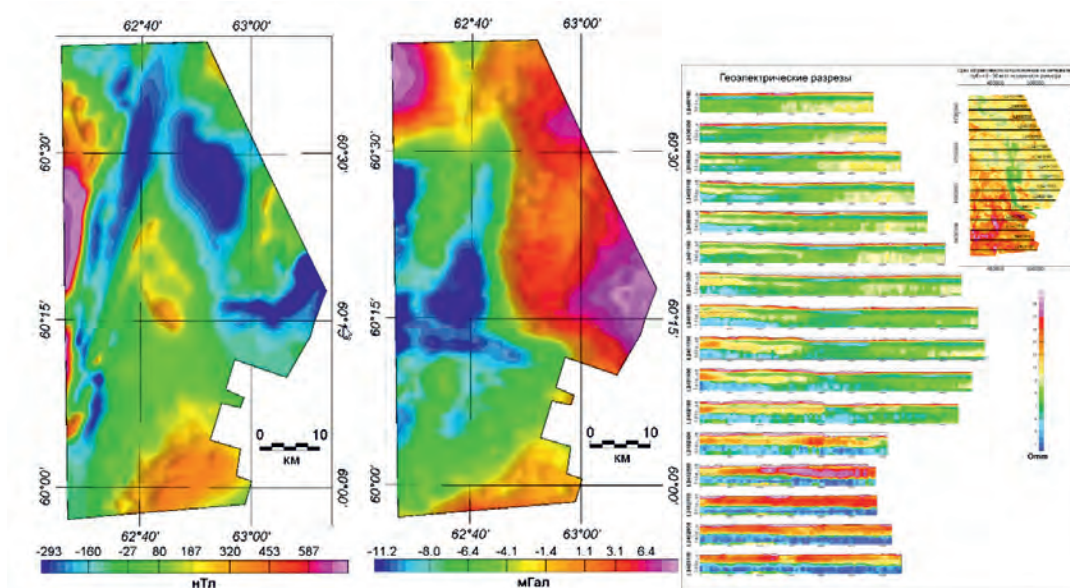
Перспективным направлением развития комплекса является его адаптация для беспилотных летательных аппаратов. Компактность и устойчивость к динамическим воздействиям создают предпосылки для расширения применения аэрогравиметрии на новых типах носителей.

Другим направлением развития является переход к векторной аэрогравиметрии, предусматривающей определение





▲ Рис. 10. Результаты многометодной аэрогеофизической съемки в Якутии: аномальное магнитное поле, сопротивления на глубине 100 м, поле силы тяжести в редукции Буге, мощность дозы гамма-излучения.



▲ Рис. 11. Результаты многометодной аэрогеофизической съемки в Свердловской области: аномальное магнитное поле, поле силы тяжести в редукции Буге, геоэлектрические разрезы.

не только аномалий силы тяжести, но и горизонтальных компонент гравитационного поля.

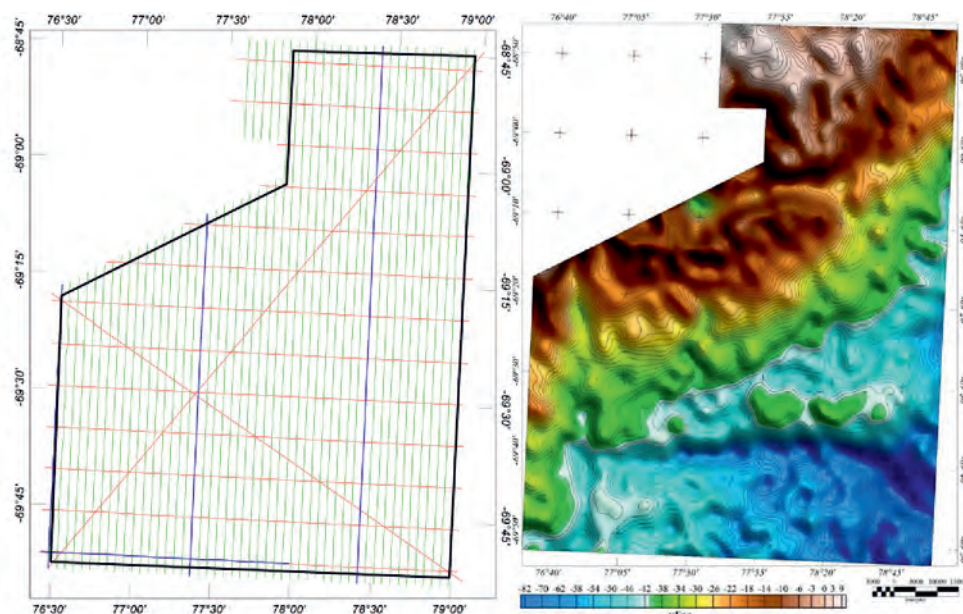
Высокие технические характеристики прибора и отсутствие экспортных ограничений позволяют рассматривать AGP-GRAV как перспективный продукт для международного рынка геофизического

оборудования.

### Заключение

AGP-GRAV представляет собой современный отечественный аппаратно-программный комплекс мобильной гравиметрии, созданный на основе достижений российской школы инерциальной навигации и аэрогеофизики.





▲ Рис. 12. Результаты аэрогравиметрической съемки в Антарктиде: фактические маршруты съемки, поле силы тяжести в редукции Буге.

Результаты испытаний и опыт промышленного применения подтверждают возможность использования комплекса в качестве полноценного инструмента для выполнения аэрогравиметрических работ различного назначения. Сочетание бесплатформенной архитектуры, современных алгоритмов обработки и высокой устойчивости к динамическим воздействиям обеспечивает получение качественных гравиметрических материалов при работе на различных типах носителей и в широком диапазоне условий съемки.

Практический опыт эксплуатации показывает, что технология может эффективно применяться как в составе комплексных аэрогеофизических съемок, так и при выполнении специализированных гравиметрических исследований.

Дальнейшее развитие комплекса связано с расширением области применения, включая беспилотные носители, а также с совершенствованием методов обработки и интерпретации данных.

### Литература

1. Вязьмин В.С., Голован А.А., Бровкин Г.И. Особенности обработки измерений бескарданного аэрогравиметра для

геофизических приложений // Геофизические исследования. 2024. Т. 25, № 1. С. 40–56.

2. Вязьмин В.С., Голован А.А., Конешов В.Н., Контарович О.Р. Новый бескарданный аэрогравиметр AGP-GRAV. Результаты сравнительных измерений // Геофизические исследования. 2026. Т. 27

3. Голован А.А., Вязьмин В.С. Методика проведения аэрогравиметрических съёмок и обработки первичных данных бескарданного аэрогравиметра // Гироскопия и навигация. 2023. Т. 31, № 1 (120). С. 58–84.

4. Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Розенцвейн В.Г., Краснов А.А., Соколов А.В. Современное состояние разработок в области бесплатформенных инерциальных аэрогравиметров // Гироскопия и навигация. 2022. Т. 30, № 4 (119). С. 3–43.

5. Трусов А.А., Контарович О.Р., Бровкин Г.И. Аэрогравиметрия нового поколения: возможности и перспективы // Материалы конференции «ПроГРРесс'23». Сочи, 2023.

6. Могилевский В.Е., Бровкин Г.И., Контарович О.Р. Достижения, особенности и проблемы аэрогравиметрии // Разведка и охрана недр. 2015. №12. С. 16-25.