

УДК 528.27

**КОЛОКАЦИЯ АБСОЛЮТНОГО БАЛЛИСТИЧЕСКОГО
И ОТНОСИТЕЛЬНОГО КРИОГЕННОГО ГРАВИМЕТРОВ
ВО ФГУП «ВНИИМ ИМ. Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА»**

Л.Ф. Витушкин, Е.П. Кривцов, В.В. Наливаев, О.А. Орлов

*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург,
e.p.krivtsov@vniim.ru*

Представлены высокоточное гравиметрическое оборудование ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», предназначенное для измерений абсолютного значения ускорения силы тяжести и его вариаций, а также результаты исследования его характеристик и возможности применения, в первую очередь как эталонного.

Ключевые слова: гравитация, ускорение, геоид, навигационная система, баллистический гравиметр, криогенный гравиметр.

COLLOCATION OF ABSOLUTE BALLISTIC AND RELATIVE CRYOGENIC GRAVIMETERS IN THE D.I. MENDELEEV ALL-RUSSIAN INSTITUTE FOR METROLOGY (VNIIM)

L.F. Vitushkin, E.P. Krivtsov, V.V. Nalivaev, O.A. Orlov

*D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St.-Petersburg,
e.p.krivtsov@vniim.ru*

This paper represents high-precision gravimetric equipment, which was designed, purchased and installed in the D.I. Mendeleev Institute for Metrology. It used to measure the absolute value of the free fall acceleration and its variations. The first investigations showed that this equipment may be used as primary standard.

Key words: gravity, acceleration, geoid, navigation system, ballistic gravimeter, superconducting gravimeter.

Результаты высокоточных измерений параметров гравитационного поля Земли (ГПЗ) и его изменений находят широкое применение. Сферами их использования являются:

- перспективные навигационные системы;
- глобальное позиционирование (ГЛОНАСС);
- фундаментальные исследования по уточнению модели геоида и изучению внутреннего строения Земли;
- прикладные геофизические исследования для обеспечения экологической безопасности (вулканология, сейсмология), а также в интересах геологии (разведка полезных ископаемых) и др.

В настоящее время наиболее точные результаты измерений параметров ГПЗ, в т.ч. в динамике, обеспечивает совместное использование абсолют-

ного баллистического и относительного криогенного гравиметров. В таком сочетании абсолютные гравиметры задают масштаб и опорный уровень, сверхпроводящие криогенные гравиметры позволяют определять вариации ускорения свободного падения с высочайшей чувствительностью и временным разрешением. Это подтверждено результатами многолетней эксплуатации подобных измерительных комплексов в ведущих геодезических центрах: Бад Хомбург, Ветцель (Германия), Вальферанж (Люксембург), ММВБ (Франция), Метсахови (Финляндия) и др. Оснащение таким оборудованием предусмотрено, в том числе, для пунктов колокации ГЛОНАСС [1].

В РФ колокация абсолютного баллистического и относительного криогенного гравиметров впервые реализована ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». В лаборатории гравиметрии института находится Государственный первичный специальный эталон (ГПСЭ) единицы ускорения свободного падения, в состав которого входят:

- абсолютный баллистический гравиметр «АБГ-ВНИИМ-2» оригинальной конструкции;
- гравиметрический пункт «Ломоносов-1» с семью гравиметрическими станциями;
- вспомогательное оборудование для обеспечения и контроля условий эксплуатации.

Разработка абсолютного гравиметра (АБГ) для ГПСЭ началась в 2005 г. До 2010 г. велись предварительные исследования и разработки, приобретение оборудования и оснащение гравиметрического пункта, в т. ч. абсолютные измерения на нем с помощью гравиметров зарубежного производства в рамках научно-технического сотрудничества.

Гравиметрический пункт (ГП) находится в Ломоносовском отделении института, в пригородной зоне Санкт-Петербурга, в специализированном здании с виброизолирующим фундаментом массой около 4 тысяч тонн. Площадь пункта составляет более 60 кв. м, что позволяет размещать оборудование, например, для сличений, на семи гравиметрических станциях.

В 2011 г. на основе оригинальных технических решений был создан АБГ для ГПСЭ, получившего при утверждении обозначение ГЭТ 190-2011.

В 2019 г. были проведены работы по совершенствованию первичного эталона, в первую очередь в части входящего в его состав АБГ.

Основными направлениями совершенствования АБГ являлись:

- доработка узлов электромеханического блока и оптимизация их работы;
- введение системы активной виброизоляции интерферометра;
- расширение частотного диапазона системы фоторегистрации;
- исследование характеристик узлов АБГ и уточнение расчетных поправок;

- совершенствование методики юстировки.

Результаты длительных серий измерений УСП с использованием АБГ позволили определить его случайную погрешность.

Неисключенная составляющая погрешности (НСП) определялась расчетно-экспериментальным путем, и для АБГ она формируется как результат составляющих, обусловленных принципом действия, конструкцией, техническими и физическими ограничениями, погрешностями учета влияющих величин и др.

После переутверждения ГПСЭ имеет следующие характеристики:

Диапазон значений ускорения свободного падения, в котором воспроизводится единица, составляет от $9,77$ до $9,85 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.

Номинальное значение ускорения свободного падения, при котором воспроизводится единица, составляет $9,82 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.

Первичный специальный эталон обеспечивает воспроизведение единицы со средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим $2\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (2 мкГал) при выполнении не менее 20 серий по 100 независимых измерений в каждой.

Неисключенная систематическая погрешность не превышает $1,8\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (1,8 мкГал).

Стандартная неопределенность:

- оцененная по типу А, $U_A - 2\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (2 мкГал);
- оцененная по типу В, $U_B - 0,8\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (0,8 мкГал);
- суммарная стандартная - $2,1\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (2,1 мкГал);
- расширенная при $k = 2 - 4,2\cdot 10^{-8} \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (4,2 мкГал).

Межаттестационный интервал составляет 1 год.

Модернизированный гравиметр из состава ГЭТ 190 на гравиметрическом пункте «Ломоносов 1» представлен на рис. 1.

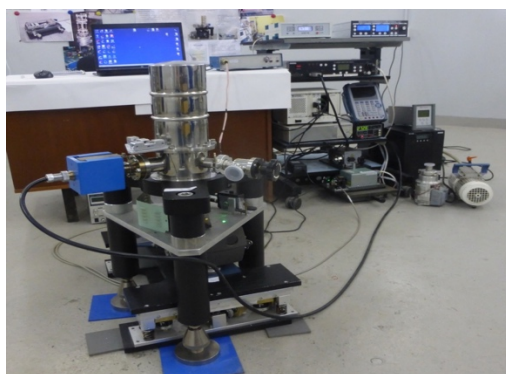


Рис.1. ГПСЭ ГЭТ 190

Подтверждением достоверности полученных точностных характеристик входящего в состав ГПСЭ абсолютного гравиметра может служить представленное на рис. 2 сравнение результатов выполненных с его помощью измерений абсолютного значения УСП на ГП "Ломоносов-1" с результатами, полученными с помощью других высокоточных гравиметров.

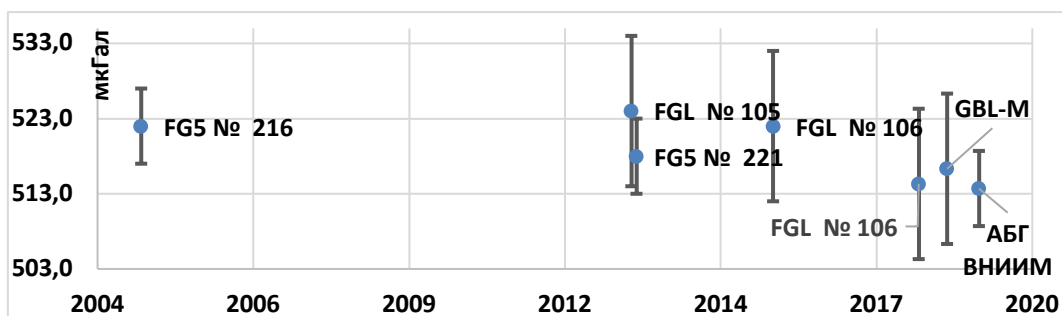


Рис. 2. Результаты измерений УСП на ГП "Ломоносов-1"

Наряду с работами в области измерений абсолютного значения УСП в лаборатории гравиметрии ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» развиваются исследования вариаций. На гравиметрическом пункте "Ломоносов-2" введен в эксплуатацию относительный криогенный гравиметр (КГ), представленный на рис. 3, и проведены исследования вариаций УСП с его помощью.

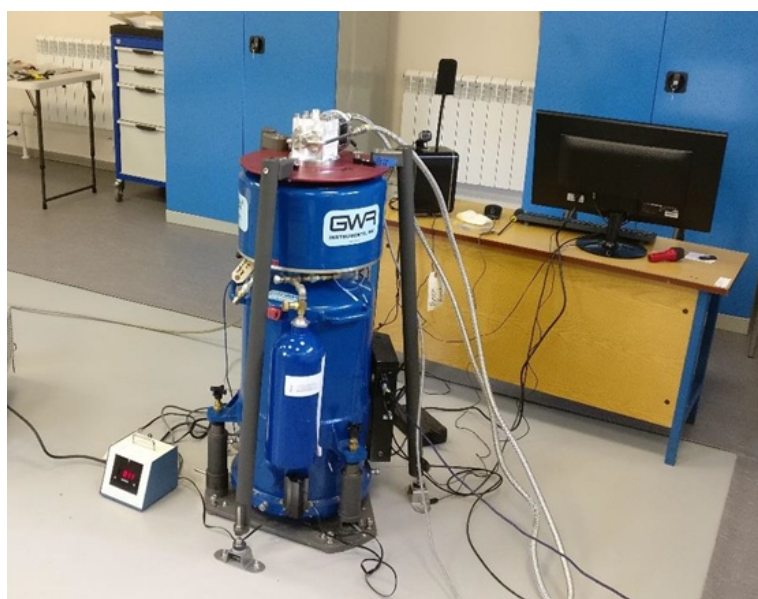


Рис. 3. Криогенный относительный гравиметр на ГП "Ломоносов-2"

Основное достоинство КГ – непрерывный режим без снижения ресурса, возможность уточнения локальной модели приливов и регистрации т. н. неприливных вариаций УСП. В первую очередь для использования криогенного относительного гравиметра в задачах метрологического назначения интерес представляют неприливно-вариации. Источниками неприливных вариаций являются изменения давления, влагосодержания, уровня грунтовых вод и снежного покрова, геодинамика. И если изменения давления успешно учитываются по результатам измерений давления, то учет других перечисленных источников неприливных вариаций существенно сложнее, и КГ на сегодняшний день является единственным инструментом для решения этой задачи.

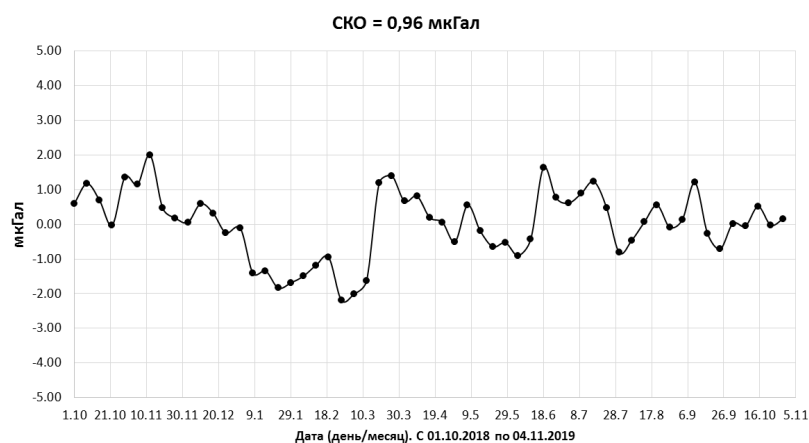


Рис. 4. Вариации УСП по результатам измерений с помощью КГ

На рис. 4 представлен график изменений УСП с использованием КГ за 1 год эксплуатации. График построен с учетом собственного линейного дрейфа КГ и вариаций атмосферного давления.

Полученные результаты подтверждают целесообразность и эффективность колокации АБГ и КГ как для контроля высоты квазигеоида, так и калибровки высокоточной гравиметрической аппаратуры. В частности, для получения актуальных значений УСП с неопределенностью 1-2 мкГал с учетом вариаций любой природы достаточно данных КГ, параметры которого корректируются с использованием результатов измерений с помощью АБГ периодически, не чаще 1 раза в месяц.

Литература

ГОСТ Р 56411-2015. Глобальная навигационная спутниковая система. методы выполнения геодезических работ. Общие требования к пунктам колокации измерительных систем. –М.: Стандартинформ. 2015.