

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»**

Утверждаю

И. о. директора

ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

А. Н. Пронин

М. п. «16» июля 2019 г.



Государственная система обеспечения единства измерений

Гравиметры относительные CG-6 Autograv

Методика поверки

МП 253-0699-2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "А. А. Янковский", written over a horizontal line.

Руководитель
НИО
А. А. Янковский

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Д. Б. Пухов", written over a horizontal line.

Заместитель
руководителя НИО
Д. Б. Пухов

г. Санкт-Петербург

2019 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ	4
2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.....	4
3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
4 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ.....	5
5 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.....	5
5.1 Внешний осмотр	5
5.2 Проверка комплектности	5
5.3 Опробование.....	5
5.4 Подтверждение соответствия программного обеспечения	5
5.5 Проверка смещения нуль-пункта.....	6
5.6 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне	6
5.7 Проверка диапазона измерений разности значений ускорения свободного падения	10
6 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	10
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	12

ВВЕДЕНИЕ

1 Настоящая методика поверки распространяется на гравиметры относительные CG-6 Autograv (далее по тексту – гравиметры) и предназначена для определения их нормированных метрологических характеристик.

2 Перед началом работы необходимо ознакомиться с настоящей методикой поверки, эксплуатационной документацией на гравиметры, техническим описанием средств измерений и оборудования, используемых при проведении поверки.

3 В тексте настоящей методики поверки использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ Р 8.715-2010 ГСИ. «Государственная поверочная схема для средств измерений ускорения свободного падения»;

- ГОСТ Р 8.736-2011 ГСОЕИ. «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

4 В тексте настоящей методики поверки имеются следующие сокращения:

- РЭ – руководство по эксплуатации;

- МП – методика поверки;

- ПО – программное обеспечение;

- ЭД – эксплуатационная документация

- СКО – среднее квадратическое отклонение (результата измерений);

- СП – систематическая погрешность.

Интервал между поверками – 2 года

1 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

1.1 При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта МП	Обязательность проведения операции при поверке	
		Первичной	Периодической
1	2	3	4
1 Проверка внешнего вида	5.1	Да	Да
2 Проверка комплектности	5.2	Да	Да
3 Опробование	5.3	Да	Да
4 Проверка дрейфа	5.4	Да	Да
5 Подтверждение соответствия программного обеспечения	5.5	Да	Да
6 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне	5.6	Да	Да
7 Проверка диапазона измерений разности значений ускорения свободного падения	5.7	Да	Нет

2 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

2.1 При проведении поверки должны применяться средства измерений и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование средства измерений и оборудования	Основные метрологические и технические характеристики	Номер пункта МП
1 Гравиметрический пункт из состава ГЭТ 190-2011 (утвержден Приказом Росстандарта от 5 мая 2012 года № 300), станция F и G	Диапазон изменения ускорения свободного падения 2,8 мГал. Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\delta=3$ мкГал.	5.3, 5.4, 5.6
2 Системы лазерные измерительные XL-80 (№35362-13)	Предел допускаемой погрешности измерения перемещения не более 0,125 мкм в диапазоне измерений перемещения от 0 до 250 мм.	5.6
3 Гравиметр CG-5 Autograv (№ 60415-15)	Диапазон измерений изменения ускорения свободного падения ± 300 мГал. предел допускаемой погрешности измерения разности ускорений не более 5 мкГал	5.6
4 Гравиметрический полигон (№ 65252-16)	Диапазон измерений разности ускорения свободного падения ± 80 мГал, предел допускаемой погрешности измерения разности ускорений не более 15 мкГал	5.6
5 Установка для воспроизведения вертикальных колебаний из состава ГЭТ 159-2011 (утвержден Приказом Росстандарта от 24.02.2012 № 106)	Диапазон частот воспроизводимых колебаний от 0,001 до 30 Гц. Погрешность воспроизведения частоты колебаний не более 10 мкГц	5.6

2.2 Допускается применение других средств поверки, обеспечивающих требуемую точность измерений, со свидетельствами о поверке с неистекшим сроком действия.

3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться требования безопасности в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителями» и «Межотраслевыми правилами по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок».

3.2 При работе с измерительными приборами и вспомогательным оборудованием должны соблюдаться требования безопасности, оговоренные в соответствующих технических описаниях и руководствах по эксплуатации применяемых приборов.

4 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

4.1 При проведении поверки должны быть соблюдены рабочие условия эксплуатации гравиметра:

– температура окружающего воздуха, °С от -40 до +45

4.2 К работе с гравиметром допускаются лица, изучившие документы, перечисленные в введении настоящей методики поверки, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе на установках с напряжением до 1000 В, прошедшие стажировку по работе с гравиметром и имеющие разрешение на работу с ним.

5 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

5.1 Внешний осмотр

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено:

-отсутствие видимых внешних повреждений гравиметра, влияющих на его эксплуатационные характеристики, и внешний вид;

-наличие четкой маркировки.

5.2 Проверка комплектности

При проверке комплектности должно быть установлено ее соответствие перечню, который приведен в эксплуатационной документации на гравиметр.

5.3 Опробование

При проведении опробования должна быть установлена работоспособность гравиметра.

5.3.1 Установить гравиметр в рабочем положении на неподвижное основание.

5.3.2 Выполнить операции подготовки к работе гравиметра в соответствии с ЭД.

5.3.3 Запустить программу измерений и записать показания прибора.

5.3.4 Установить гравиметр в рабочем положении на неподвижное основание на высоте, отличающейся от начальной от 0,8 до 1,5 метров и провести измерения.

5.3.5 Гравиметр считается прошедшим поверку по пункту 5.3 если изменения показаний гравиметра составляют от 200 до 400 мкГал.

5.4 Подтверждение соответствия программного обеспечения

5.4.1 Подготовить гравиметр к работе, в соответствии с руководством по эксплуатации.

5.4.2 Включить гравиметр. После загрузки появится основное окно программы. Войти в меню «Settings->Info». Во второй строчке экрана будут указаны идентификационное наименование и версия встроенного программного обеспечения.

5.4.3 Номер версии встроенного ПО должен быть не ниже приведённого в таблице 3.

Таблица 3

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование встроенного ПО	Firmware
Номер версии (идентификационный номер) встроенного ПО	CG6_2_20190125
Идентификационное наименование автономного ПО	LynxLG
Номер версии (идентификационный номер) автономного ПО	v. 1.17.7.11

5.4.4 Подтверждение идентификации автономного ПО производится, если в комплект поставки входит планшетный компьютер.

5.4.4.1 На планшетном компьютере перейти в папку, в которой установлено автономное ПО (обычно C:\Program Files\LinxLG\bin).

5.4.4.2 Выбрать файл LynxLG.exe и кликнуть на нем правой кнопкой мыши.

5.4.4.3 В выпавшем меню выбрать пункт Properties (Свойства).

5.4.4.4 В появившемся окне на закладке Details (Подробно) отображается информация об автономном ПО:

- в строке Product name (Название продукта) – идентификационное наименование автономного ПО;

- в строке Product ID (Версия продукта) – номер версии автономного ПО.

5.4.5 Гравиметр считается прошедшим поверку по пункту 5.4 МП, если номера версий ПО не ниже приведенных в таблице 3.

5.5 Проверка дрейфа

5.5.1 Установить гравиметр в рабочем положении на неподвижное основание. Запустить программу измерения и произвести запись показаний гравиметра dg_i в течение 24 ч с периодом оцифровки 60 с. Полученные результаты измерений сохранить на компьютере.

5.5.2 Открыть файл xxxx.txt со значениями dg_i , полученными в процессе измерений.

5.5.3 Рассчитать среднее начальное значение показаний гравиметра, как среднее по первым 15 точкам по формуле:

$$m_{\text{start}} = \frac{\sum_{i=1}^{15} dg_i}{15}$$

5.5.4 Рассчитать среднее конечное значение показаний гравиметра, как среднее по последним 15 точкам по формуле:

$$m_{\text{end}} = \frac{\sum_{i=N-15}^N dg_i}{15},$$

где N – число отсчётов за 24 часа.

5.5.5 Рассчитать дрейф за сутки (Dg) по формуле:

$$Dg = (m_{\text{end}} - m_{\text{start}})$$

5.5.6 Если дрейф Dg больше 0,02 мГал необходимо провести его коррекцию в соответствии с руководством по эксплуатации по формуле:

$$dg_{\text{corr}i} = dg_i + \frac{m_{\text{end}} - m_{\text{start}}}{N} \cdot i$$

где i – порядковый номер отсчёта: $i = 1 \dots N$.

5.5.7 Если в результате измерений по пункту 5.5 величина дрейфа превысила 0,02 мГал и была проведена коррекция, то измерения по пункту 5.5.1-5.5.6 необходимо повторить.

5.5.8 Гравиметр считается прошедшим поверку по пункту 5.5, если дрейф за 24 ч не превышает 0,02 мГал.

5.6 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне

При проведении первичной поверки гравиметра определение погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения производится при настройке гравиметра для работы в режимах А, В и С методом 1. При проведении периодической поверки определение погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения производится в режиме работы А (методом 1) и(или) в режиме работы В (методом 1 или 2) и

(или) в режиме работы С (методом 1 или 2 или 3), с указанием в свидетельстве о поверке режима работы гравиметра, при котором проводилась поверка.

5.6.1 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне методом 1

5.6.1.1 В меню настроек гравиметра убедиться в том, что гравиметр работает в режиме А - автоматическая коррекция дрейфа и автоматический ввод поправок на наклон гравиметра, температуру, и воздействие гравитационного поля Луны (приливы/отливы) включены.

5.6.1.2 Установить гравиметр в точке F гравитационного пункта.

5.6.1.3 Выполнить операции подготовки к работе гравиметра в соответствии с его ЭД.

5.6.1.4 Провести запись показаний гравиметра в течение 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.1.5 Установить гравиметр в точке G гравитационного пункта.

5.6.1.6 Провести запись показаний гравиметра в течение 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика). Результаты измерений занести в таблицу 4.

5.6.1.7 Запустить рабочую программу гравиметра в режиме измерения ускорения свободного падения со временем задержки одна минута.

5.6.1.8 Установить начальные параметры движения вертикальной платформы установки для воспроизведения вертикальных колебаний:

- частота колебания f - 0,003 Гц;
- амплитуда перемещения – 0,25 м.

5.6.1.9 Включить установку в режиме воспроизведения вертикальных колебаний.

5.6.1.10 Провести запись показаний гравиметра в течение 5 периодов колебаний. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.1.11 Произвести обработку данных результата измерения файла *.smp и определить амплитуду изменения ускорения свободного падения. Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4

i	a_i , мГал	F , Гц	$A_{зад.уст. i}$, мГал	$A_{изм.зр. i}$, мГал	
1	2,8	-	2,874		
4	10	0,003			
5	50	0,007			
6	80	0,009			
7	100	0,010			
8	200	0,014			
9	400	0,020			

5.6.1.12 При помощи интерферометра эталона провести измерение амплитуды X перемещения подвижной платформы установки и рассчитать фактическое значение амплитуды воспроизводимого ускорения $A_{зад.уст. i}$ по формуле:

$$A_{зад.уст.(i)} = 4 \cdot \pi^2 \cdot F^2 \cdot X$$

5.6.1.13 По данным таблицы 4 определить погрешность измерений разности ускорений по формуле:

$$\Delta = (A_{изм.зр.(i)+} - A_{зад.уст.(i)} - 0,00324 \times A_{зад.уст.(i)}) \cdot 1000$$

где: $A_{зад.уст. i}$, мГал – амплитуда ускорения, заданная установкой;

$A_{изм.зр. i}$, мГал – изменение ускорение, измеренное гравиметром.

5.6.1.14 Изменяя частоту колебаний установки выполнить операции п.5.6.1.911-5.6.1.135 для всех значений ускорений a_i , указанных в таблице 4.

5.6.1.15 По данным таблицы 4 рассчитать систематическую погрешность измерений разности ускорений по формуле:

$$\Theta_g = \max(\Delta)$$

5.6.1.16 Случайная составляющая погрешность гравиметра ($\delta g_{сл}$) определяется СКО результатов измерений и рассчитывается по формуле:

$$dg_{сл} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (dg_i - m_{start})^2},$$

где:

m_{start} , dg_i – результаты измерений и расчётов при выполнении п.5.5, $n = 15$.

5.6.1.17 Абсолютная погрешность измерений разности ускорений свободного падения оценивается суммарной погрешностью S_{Σ} , рассчитываемой по формулам (ГОСТ 8.736-2011):

$$S_{\Sigma} = 1,1 \sqrt{\frac{\Theta_g^2}{3} + \delta g_{сл}^2}$$

5.6.1.18 Перевести гравиметр в режим работы В - автоматический ввод поправок на наклон гравиметра отключен. Повторить операции 5.6.1.2 – 5.6.1.17.

5.6.1.19 Перевести гравиметр в режим работы С - автоматический ввод поправок на наклон гравиметра отключен, автоматическая коррекция дрейфа отключена.. Повторить операции 5.6.1.2 – 5.6.1.17.

5.6.1.20 Гравиметр считается выдержавшим испытания, если абсолютная погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне в режиме А не превышает $\pm 5,0$ мкГал; в режиме В - не превышает $\pm 10,0$ мкГал; в режиме С- не превышает $\pm 30,0$ мкГал.

5.6.2 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне методом 2

5.6.2.1 Установить поверяемый гравиметр и эталонный гравиметр в начальную точку гравиметрического полигона.

5.6.2.2 В меню настроек поверяемого гравиметра убедиться в том, что автоматический ввод поправки выключен.

5.6.2.3 Провести запись показаний гравиметрами в течении 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.2.4 Произвести обработку данных результата измерения файла *.smp и определить начальное значение ускорения свободного падения.

5.6.2.5 Перенести поверяемый гравиметр и эталонный гравиметр в следующую точку гравиметрического полигона.

5.6.2.6 Провести запись показаний гравиметрами в течении 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.2.7 Произвести обработку данных результата измерения файла *.smp и определить изменение ускорения свободного падения после переноса. Результаты измерений занести в таблицу 5 и в таблицу 6.

5.6.2.8 Повторить измерения во всех точках гравиметрического полигона. Заполнить таблицу 5 и таблицу 6.

Таблица 5. Результаты измерений поверяемым гравиметром

i	1	2	...	N
1	-	$E = A_2 - A_1$		$E = A_N - A_1$
2	$E = A_1 - A_2$	-	...	$E = A_N - A_2$
...	-	...
N	$E = A_1 - A_N$	$E = A_2 - A_N$...	-

Таблица 6. Результаты измерений эталонным гравиметром

i	1	2	...	N
1	-	$E_0 = A_2^0 - A_1^0$		$E_0 = A_N^0 - A_1^0$
2	$E_0 = A_1^0 - A_2^0$	-	...	$E_0 = A_N^0 - A_2^0$
...	-	...
N	$E_0 = A_1^0 - A_N^0$	$E_0 = A_2^0 - A_N^0$...	-

5.6.2.9 По данным таблиц 5 и 6 рассчитать погрешность измерений разности значений ускорения по формуле:

$$\Theta_g = \max(|E - E_0|)$$

5.6.2.10 Случайная составляющая погрешность гравиметра ($\delta g_{\text{сл}}$) определяется СКО результатов измерений и рассчитывается по формуле:

$$\delta g_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (dg_i - m_{\text{start}})^2}$$

где:

m_{start} , dg_i – результаты измерений и расчётов при выполнении п.5.5, $n = 15$.

5.6.2.11 Абсолютная погрешность измерений разности значений ускорения свободного падения оценивается суммарной погрешностью S_Σ , рассчитываемой по формуле (ГОСТ 8.736-2011):

$$S_\Sigma = 1,1 \sqrt{\frac{\Theta_g^2 + \Delta_{\text{ГР}}^2}{3} + \delta g_{\text{сл}}^2}$$

где $\Delta_{\text{ГР}}$ - погрешность эталонного гравиметра.

5.6.2.12 Гравиметр считается выдержавшим испытания, если абсолютная погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне в режиме В не превышает $\pm 10,0$ мкГал; в режиме С - не превышает $\pm 30,0$ мкГал.

5.6.3 Определение абсолютной погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне методом 3

5.6.3.1 Установить поверяемый гравиметр в начальную точку гравиметрического полигона.

5.6.3.2 В меню настроек поверяемого гравиметра убедиться в том, что автоматический ввод поправки на наклон и коррекция дрейфа выключены.

5.6.3.3 Провести запись показаний гравиметром в течении 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.3.4 Произвести обработку данных результата измерения файла *.smr и определить начальное значение ускорения свободного падения.

5.6.3.5 Перенести поверяемый гравиметр в следующую точку гравиметрического полигона.

5.6.3.6 Провести запись показаний гравиметром в течении 5 минут. (В настройке гравиметра включить опцию сохранения данных гравиметра с гравиметрического датчика).

5.6.3.7 Произвести обработку данных результата измерения файла *.smp и определить изменение ускорения свободного падения после переноса. Результаты измерений занести в таблицу 7.

5.6.3.8 Повторить измерения во всех точках гравиметрического полигона. Заполнить таблицу 7.

Таблица 7. Результаты измерений поверяемым гравиметром

i	1	2	...	N
1	-	$E = A_2 - A_1$		$E = A_N - A_1$
2	$E = A_1 - A_2$	-	...	$E = A_N - A_2$
...	-	...
N	$E = A_1 - A_N$	$E = A_2 - A_N$...	-

5.6.3.9 По данным таблицы 7 рассчитать погрешность измерений изменения ускорения по формуле:

$$\Theta_g = \max(|E - E_0^p|)$$

где E_0^p - изменение ускорения свободного падения, указанные в документации на полигон.

5.6.3.10 Случайная составляющая погрешность гравиметра ($\delta g_{\text{сл}}$) определяется СКО результатов измерений и рассчитывается по формуле:

$$\delta g_{\text{сл}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (dg_i - m_{\text{start}})^2}$$

где:

m_{start} , dg_i – результаты измерений и расчётов при выполнении п.5.5, $n = 15$.

5.6.3.11 Абсолютная погрешность измерений разности значений ускорения свободного падения оценивается суммарной погрешностью S_{Σ} , рассчитываемой по формуле (ГОСТ 8.736-2011):

$$S_{\Sigma} = 1,1 \sqrt{\frac{\Theta_g^2 + \Delta_{\Pi}^2}{3} + \delta g_{\text{сл}}^2}$$

где Δ_{Π} - погрешность гравиметрического полигона.

5.6.3.12 Гравиметр считается выдержавшим поверку, если абсолютная погрешности измерений разности значений ускорения свободного падения в рабочем диапазоне в режиме С не превышает $\pm 30,0$ мкГал.

5.7 Проверка диапазона измерений разности значений ускорения свободного падения

5.7.1 Проверка диапазона измерений разности значений ускорения свободного падения, проводится по результатам выполнения операций п. 5.6 МП.

5.7.2 При выполнении требований п. 5.6 МП диапазон измерений разности значений ускорения свободного падения составляет ± 400 мГал.

6 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

6.1 При положительных результатах поверки, проведённой в соответствии с настоящей методикой, оформляется протокол поверки в соответствии с ПРИЛОЖЕНИЕМ А и выдаётся свидетельство о поверке. На оборотной стороне свидетельства о поверке должен быть указан режим работы гравиметра, при котором проведена поверка. Знак поверки наносится на свидетельство о поверки.

6.2 При отрицательных результатах поверки гравиметр к применению не допускается и на него оформляется извещение о непригодности.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Протокол первичной/периодической поверки гравиметра относительного CG-6 Autograv

Условия поверки:

Температура окружающего воздуха _____ °С.

Относительная влажность воздуха _____ %.

Атмосферное давление _____ кПа.

Результаты поверки

1 Внешний осмотр, проверка комплектности _____

2 Опробование _____

3 Подтверждение соответствия программного обеспечения _____

4 Определение погрешности измерений

4.1 Смещение нуля-пункта, мкГал

4.1 Абсолютная погрешность измерений

разности значений ускорения свободного падения, мкГал

5 Заключение: гравиметр относительный CG-6 Autograv, №

пригоден / непригоден для применения.

Дата поверки « _____ » _____ 201_ г.

Поверитель _____

Подпись

Расшифровка подписи