ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, 2022, том 23, № 1, с.20-29. https://doi.org/10.21455/gr2022.1-2

УДК 550.831.23:550.312

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАВИМЕТРОМ *CG*-5 *AUTOGRAV*

© 2022 г. Д.В. Абрамов[1], Н.В. Дробышев[1], Д.А. Малышева[2]

[1] *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*
[2] *Владимирский государственный университет имени Александра и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия*
Автор для переписки: Н.В. Дробышев (e-mail: nvdrobyshev@rambler.ru)

Проанализировано влияние изменения температуры окружающей среды на показания гравиметра *CG*-5 *Autograv* для определения степени воздействия метеофакторов на долговременные гравиметрические измерения.

В гравиметре *CG*-5 *Autograv* предусмотрено постоянное измерение температуры корпуса, что является объективной оценкой температуры окружающей среды. Экспериментальные результаты долговременных наблюдений на гравиметрическом пункте подтверждают необходимость учёта изменений скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра, которые обусловлены изменением температуры окружающей среды, возникающим, несмотря на работу термостата.

Установлено, что изменение скорости дрейфа нуль-пункта несколько запаздывает по отношению к изменению температуры корпуса гравиметра. Величина инерционного запаздывания по существу представляет собой продолжительность температурной релаксации прибора, развивающейся в зависимости от конкретной температурной динамики. Инерционный характер реакции измерительной системы термостатированного гравиметра на изменение температуры корпуса был описан математической моделью температурной релаксации. В качестве такой модели предложено рассматривать температуру, которая наиболее точно коррелирует со скоростью дрейфа (“эффективную” температуру), представленную в виде набора апериодических звеньев первого порядка. В целях определения параметров апериодических звеньев выполнены эталонные гравиметрические измерения с одновременным измерением температуры корпуса гравиметра при различных условиях изменения температуры окружающей среды. Значения параметров апериодических звеньев устанавливались по максимуму корреляции между скоростью дрейфа нуль-пункта гравиметра и “эффективной” температурой.

После выявления коэффициента зависимости нелинейной составляющей скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра от “эффективной” температуры стало возможным построение модели компенсации нелинейной составляющей дрейфа нуль-пункта гравиметра. В результате, модель компенсации нелинейной составляющей дрейфа по значению “эффективной” температуры совместно с моделью температурной релаксации можно представить в виде алгоритма учёта влияния внешней температуры на нелинейную составляющую скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра.

Ключевые слова: гравиметр *CG*-5 *Autograv*, смещение нуль-пункта, температурная релаксация, алгоритм учёта влияния внешней температуры.

Введение

В процессе долговременных гравиметрических наблюдений заметное влияние на гравиметрический комплекс оказывает множество внешних факторов. Ранее уже были оценены неполный или ошибочный учёт приливного воздействия, влияние сейсмических событий и сезонных метеорологических факторов, а также значительное воздействие отголосков землетрясений [*Абрамов, Дробышев, Конешов,* 2013; *Абрамов, Конешов,*

Чебров, 2016; *Дробышев, Конешов,* 2013, 2014]. Предлагаемая статья – продолжение исследований учёта влияния этих факторов на гравиметрические измерения, проводимых в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

В современных гравиметрах предусмотрены системы введения поправок, которые учитывают влияние внешних факторов, воздействующих на прибор. Вызвано это тем, что получение данных с точностью порядка первых мкГал невозможно без использования дополнительной информации на пункте наблюдения. Один из источников погрешностей измерения – нелинейная составляющая дрейфа нуль-пункта гравиметра.

В данной статье рассматривается возможность учёта влияния изменений внешней температуры (температуры корпуса гравиметра) на величину нелинейной составляющей нуль-пункта гравиметра *CG*-5 *Autograv*.

Оценка температурного влияния

В гравиметре предусмотрена защита от изменений внешней температуры и атмосферного давления, которая достигается путём герметизации чувствительного элемента системы *Autograv* в вакуумной камере и температурной стабилизацией. Благодаря широкому диапазону рабочих температур, оператор может использовать систему *Autograv* в самых разных условиях в рамках его точностных характеристик [Относительный …, 2008]. Один из важнейших факторов, определяющих точность и достоверность получаемых гравиметрических данных, – это учёт дрейфа нуль-пункта гравиметра [*Elsaka,* 2020]. Малое смещение нуль-пункта гравиметра *CG*-5 является результатом чрезвычайно устойчивой работы упругой кварцевой системы прибора и высокой степени термостабилизации. Стабильность работы гравиметра *CG*-5 позволяет производить оценку линейного смещения нуль-пункта с точностью, составляющей менее чем 0.02 мГал/сут. Существующая точность определения постоянного смещения нуль-пункта, даёт возможность использовать гравиметрические данные для большинства областей применения [*Yu et al.,* 2015; *Абрамов, Конешов, Чебров,* 2016]. Однако при проведении долговременных гравиметрических наблюдений нелинейная составляющая смещения нуль-пункта приводит к существенным погрешностям.

При выполнении долговременных стационарных наблюдений имеется возможность изучения зависимости дрейфа нуль-пункта гравиметра от различных, в частности, метеорологических факторов и прежде всего от изменений температуры окружающей среды. В данной работе для получения необходимых временных рядов выполнялись и выполняются долговременные гравиметрические измерения на фундаментальном гравиметрическом пункте “Лёдово” и гравиметрическом пункте первого класса “Запольское” [ГОСТ РВ 1.1-96; *Seigel,* 1995]. Особенность этих пунктов в том, что пункт “Запольское” расположен в неотапливаемом теплоизолированном помещении, а пункт “Лёдово” находится в отапливаемом помещении с практически постоянной температурой.

Фрагмент отсчётов гравиметра *CG*-5 *Autograv* № 350, зарегистрированный на пунктах “Лёдово” – “Запольское” – “Лёдово” за период с 19.11.2018 по 12.05.2020 гг. при отключенном автоматическом учёте постоянного смещения, представлен на рис. 1. Можно видеть, что смещение нуль-пункта носит в основном линейный характер. Скачки в отсчётах вызваны разницей в величине значений ускорения силы тяжести на гравиметрических пунктах при перемещении прибора.

Как уже отмечалось, скорость дрейфа (скорость смещения нуль-пункта) – одна из основных характеристик относительных гравиметров. Инструкцией по эксплуатации гравиметра *CG*-5 *Autograv* предусмотрена следующая процедура её определения:

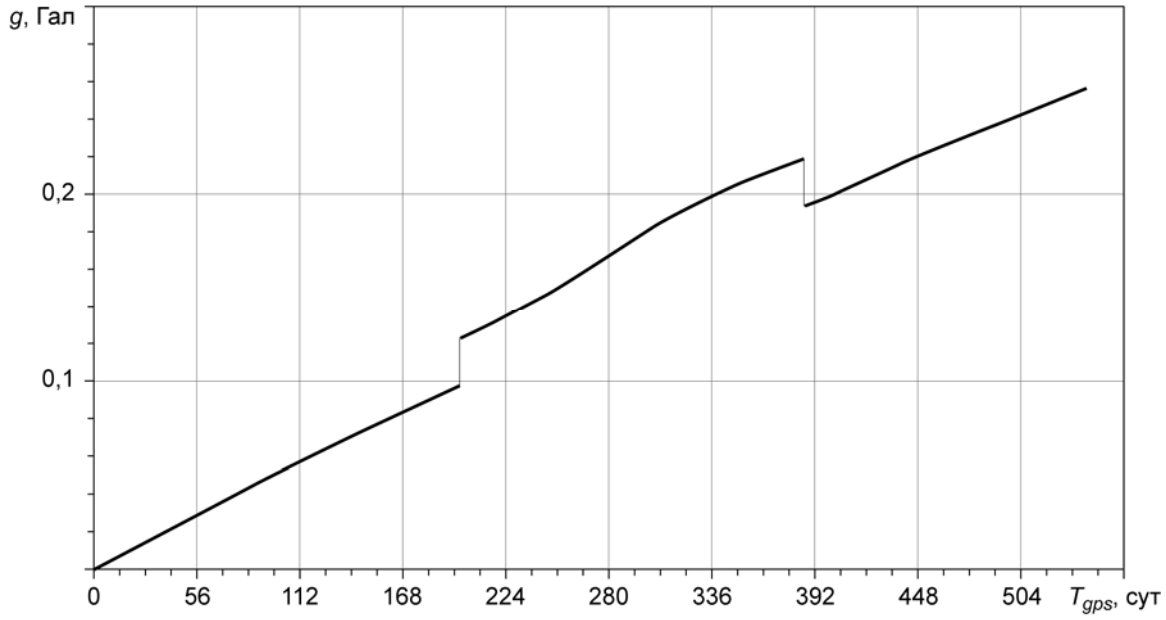

Рис. 1. Фрагмент отсчётов гравиметра *CG*-5 *Autograv* № 350, полученный на пунктах “Лёдово”–“Запольское”–“Лёдово” с 19.11.2018 по 12.05.2020 г. Здесь и на рис. 2, 3, 5, 8 на горизонтальной оси – время T_{gps}, сут

Fig. 1. Fragment of readings of *CG*-5 *Autograv* gravimeter № 350, obtained on the stations “Ledovo”–“Zapolskoe”–“Ledovo” from November 11, 2018 to May 12, 2020. Here and in Figs. 2, 3, 5, 8 on the horizontal axis – time T_{gps}, days

– накопление отсчётов (рекомендованное время накопления 24 либо 12 ч.);
– учёт лунно-солнечной гравиметрической поправки (обязательно);
– расчёт скорости дрейфа (приращение к заданному периоду накопления).

Следует отметить, что повторение данной калибровочной процедуры предусматривается довольно часто. Однако это не всегда возможно при непрерывных долговременных наблюдениях. Поэтому вместо указанной процедуры было предложено провести фильтрацию накопленных во время наблюдений отсчётов в целях подавления микросейсмических шумов, снижения влияния сейсмических событий, не полного учёта лунно-солнечного и частично барометрического эффекта с последующим определением скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра. В данном исследовании постоянная времени фильтра была принята равной 36 ч.

В качестве фильтра использовался цифровой аналог апериодического звена. В этом случае, чтобы исключить фазовый сдвиг, фильтрация проводилась последовательно – сначала в “прямом”, а затем в “обратном” времени, что привело к подавлению высокочастотной составляющей на уровне –40 дБ на частотах выше частоты среза [*Хемминг,* 1987]. Для определения скорости дрейфа применялось числовое дифференцирование результата фильтрации. Итоги указанной процедуры приведены на рис. 2.

На представленном графике видно, что скорость дрейфа нуль-пункта гравиметра носит достаточно сложный характер. В то же время график изменения температуры корпуса гравиметра имеет примерно тот же вид (рис. 3). Ряд естественным образом разделён на три участка, соответствующих расположению прибора в разных пунктах наблюдения. Первые два участка использовались для определения параметров вычисления “эффективной” температуры, а третий – в качестве контрольного для апробирования результатов.

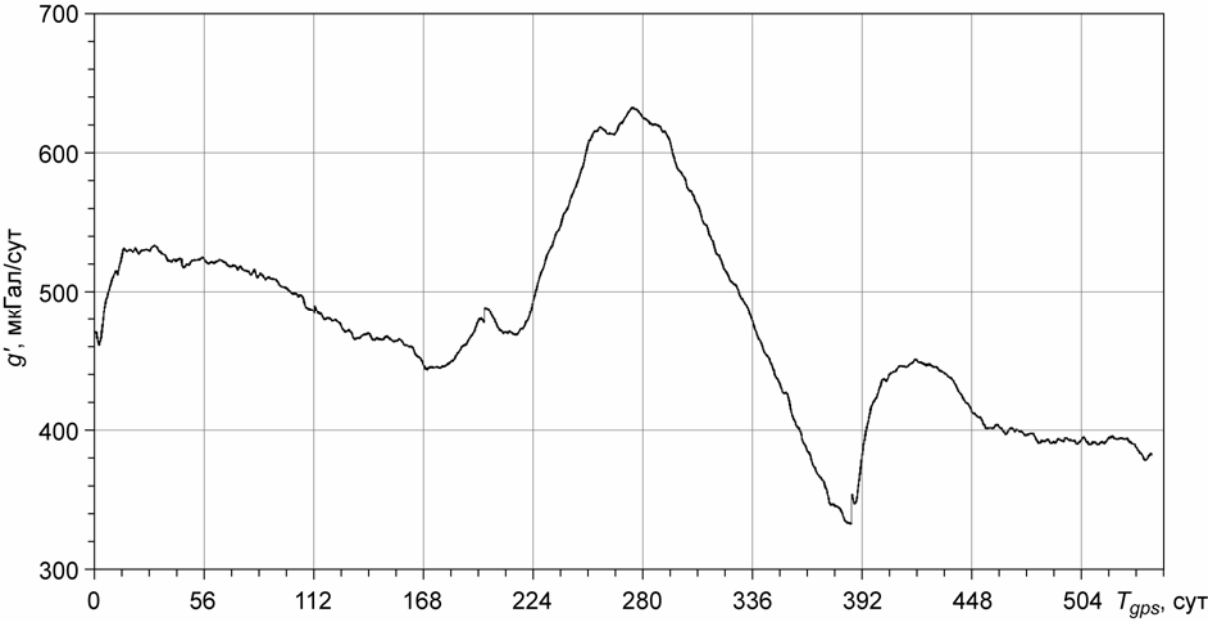

Рис. 2. Скорость дрейфа нуль-пункта гравиметра g', мкГал/сут, зафиксированная за период наблюдений с 19.11.2018 по 12.05.2020 гг.

Fig. 2. Velocity of drift of the gravimeter zero-point g', μGal/day, recorded during the observation period from November 19, 2018 to May 12, 2020

Рис. 3. Значения температуры корпуса гравиметра $t_{пр}$, °C, зафиксированные за период наблюдений с 19.11.2018 по 12.05.2020 гг.

Fig. 3. Temperature values of the gravimeter body $t_{пр}$, °C, recorded during the observation period from November 19, 2018 to May 12, 2020

В ходе исследований были установлены характеристики зависимости скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра от температуры. Находясь на гравиметрическом пункте “Запольское” в неотапливаемом помещении, корпус гравиметра постепенно охладился

до 12 °С, после чего прибор был перемещён на фундаментальный гравиметрический пункт “Лёдово” с температурой окружающей среды порядка 20–22 °С. Таким образом, было обеспечено практически классическое воздействие скачка температуры на скорость дрейфа нуль-пункта гравиметра.

Также было определено инерционное запаздывание показаний гравиметра от изменения температуры. Была получена математическая модель температурной релаксации, которая позволила установить “эффективную” температуру, максимально точно описывающую воздействие на скорость дрейфа. На рис. 4 представлена структурная схема вычисления “эффективной” температуры $t_{эфф}$ при изменении температуры прибора $t_{пр}$.

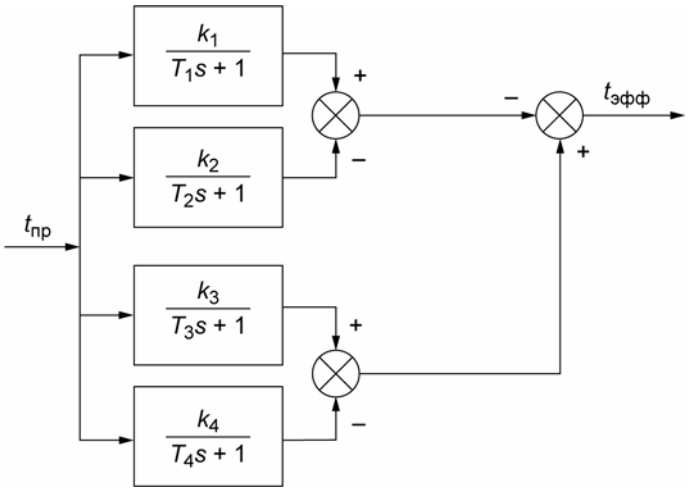

Рис. 4. Структурная схема вычисления “эффективной” температуры $t_{эфф}$. Прямоугольниками обозначены передаточные функции преобразования температуры прибора $t_{пр}$; кругами – сумматоры сигнала с соответствующим знаком; k_1–k_4 – коэффициенты усиления; T_1–T_4 – постоянные времени преобразования; s – оператор дифференцирования

Fig. 4. Structural scheme for calculating the “effective” temperature $t_{эфф}$. Rectangles indicate the transfer functions of the device temperature conversion $t_{пр}$; circles – signal adders with the corresponding sign; k_1–k_4 – amplification factors; T_1–T_4 – conversion time constants; s – differentiation operator

Параметры для вычисления “эффективной” температуры, принимающей во внимание конструктивные особенности прибора, были установлены эмпирическим путём и составили T_1=4 сут, T_2=5 сут, T_3=15 сут, T_4=30 сут. Значения коэффициентов усиления k_1=0.22, k_2=0.22, k_3=1.05, k_4=1 подбирались исходя из максимизации корреляции между “эффективной” температурой и скоростью дрейфа.

“Эффективная” температура совместно со скоростью дрейфа, пропущенной через фильтр с постоянной времени равной 36 ч, и с учтённой линейной составляющей дрейфа представлена на рис. 5. Коэффициент корреляции между ними составляет 0.981.

При построении графика зависимости скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра от “эффективной” температуры (рис. 6) была получена аппроксимирующая прямая, тангенс угла наклона которой использован в качестве коэффициента пересчёта температуры в поправку, учитывающую нелинейную составляющую дрейфа нуль-пункта. Здесь следует отметить, что скорость дрейфа гравиметра разделяется на линейную и нелинейную составляющие. Линейная составляющая учитывается с помощью соответствующих коэффициентов, а нелинейная как раз является предметом исследований.

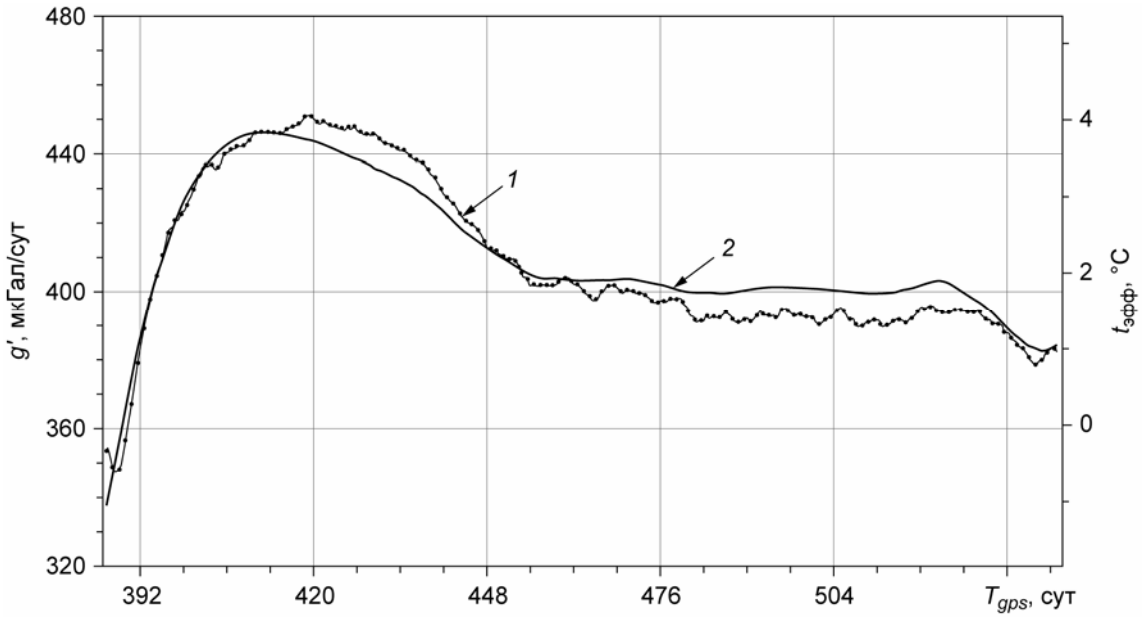

Рис. 5. Скорость дрейфа нуль-пункта гравиметра g' (*1*, левая шкала) и “эффективная” температура $t_{эфф}$ (*2*, правая шкала), полученные за период наблюдений с 15.12.2019 по 04.05.2020 гг.

Fig. 5. Velocity of drift of the gravimeter zero-point g' (*1*, left scale) and “effective” temperature $t_{эфф}$ (*2*, right scale), obtained during the observation period from December 15, 2019 to May 04, 2020

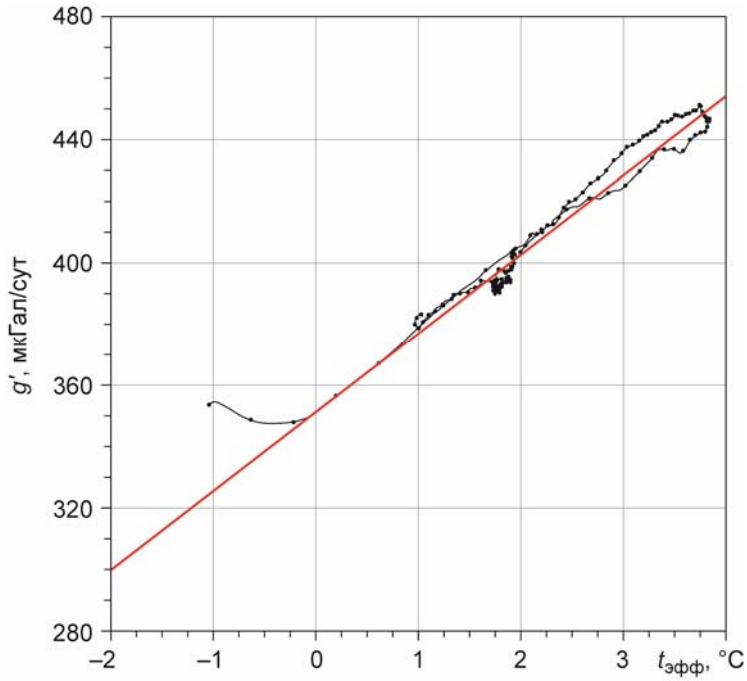

Рис. 6. Зависимость скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра g' от “эффективной” температуры $t_{эфф}$. Красной линией обозначена аппроксимирующая прямая, описываемая уравнением y=25.67·$t_{эфф}$+351.49

Fig. 6. Dependence of the drift velocity of the gravimeter zero-point g' on the “effective” temperature $t_{эфф}$. The red line indicates the approximating straight line described by the equation y=25.67·$t_{эфф}$+351.49

Структурная схема модели компенсации нелинейной составляющей дрейфа нуль-пункта гравиметра показана на рис. 7. Модель компенсации нелинейной составляющей дрейфа по значению “эффективной” температуры совместно с моделью температурной релаксации можно представить в виде алгоритма учёта влияния внешней температуры на нелинейную составляющую скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра.

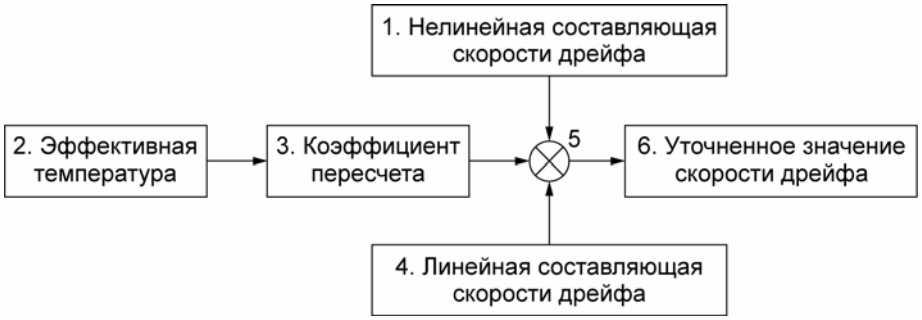

Рис. 7. Структурная схема модели компенсации нелинейной составляющей дрейфа по значению “эффективной” температуры. Кругом обозначен сумматор

Fig. 7. Structural scheme of the model of compensating the drift nonlinear component by the value of the “effective” temperature. 1 – nonlinear component of the drift velocity; 2 – effective temperature; 3 – conversion factor; 4 – linear component of the drift velocity; 5 – adder; 6 – updated value of the drift velocity

В результате компенсации нелинейной составляющей скорости дрейфа по значению внешней температуры с использованием созданной модели погрешность учёта скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра уменьшилась на порядок на полугодовом ряде измерений (рис. 8).

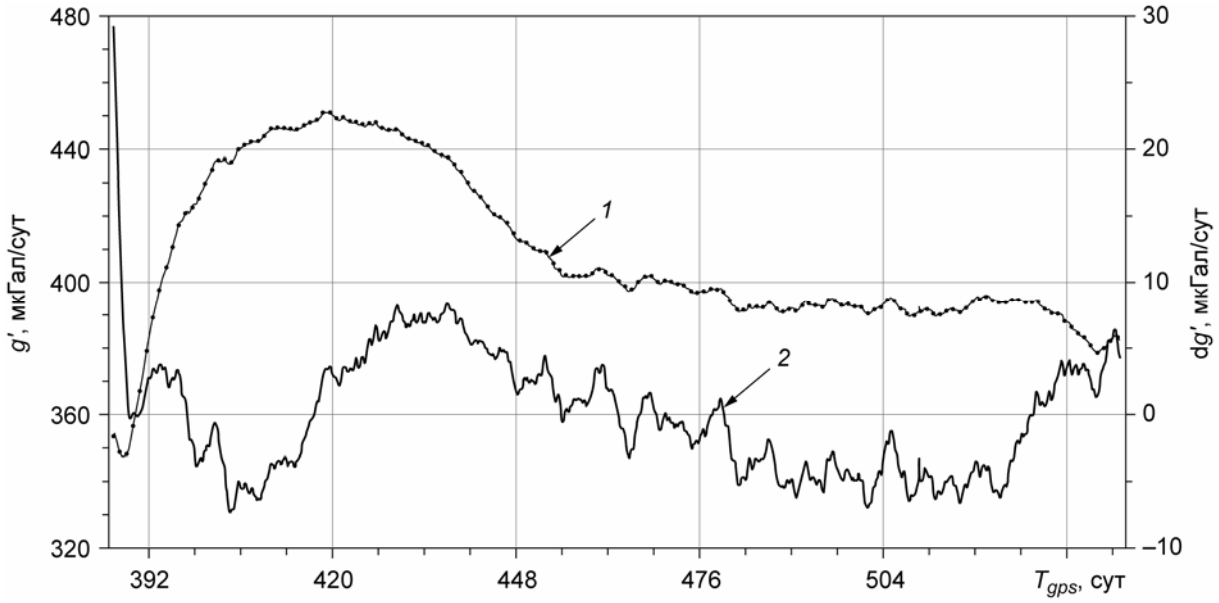

Рис. 8. Скорость дрейфа гравиметра *g′* (*1*, левая шкала) при долговременных наблюдениях и её уточненное значение *dg′* (*2*, правая шкала) за период наблюдений с 15.12.2019 по 04.05.2020 гг.

Fig. 8. Gravimeter drift velocity *g′* (*1*, left scale) during long-term observations and its updated value *dg′* (*2*, right scale) during the observation period from December 15, 2019 to May 04, 2020

Следует отметить, что полученный результат был достигнут при работе гравиметра в отапливаемом помещении, где колебания температур сводились к минимуму. При работе прибора в условиях постоянно меняющейся температуры структура модели компенсации останется неизменной, однако потребуется уточнение значений параметров модели. Это же относится и к использованию других аналогичных гравиметрических приборов.

Выводы

1. Несмотря на термостатирование чувствительной системы гравиметра, нелинейная составляющая скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра зависит от температуры окружающей среды.

2. Конструктивные особенности гравиметра заключаются в том, что в его элементах процесс температурной релаксации происходит с различными постоянными времени (T_1, T_2, T_3, T_4). Это приводит к изменению скорости дрейфа нуль-пункта гравиметра в зависимости от внешней температуры с постоянными времени в диапазоне между четвёртыми и пятыми, а также между пятнадцатыми и тридцатыми сутками.

3. Существующее термостатирование чувствительной системы гравиметра позволяет выполнять высокоточную гравиметрическую съёмку продолжительностью до двух суток без учёта нелинейной составляющей дрейфа нуль-пункта гравиметра.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Литература

Абрамов Д.В., Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Оценка влияния сейсмических и метеорологических факторов на точность измерений относительным гравиметром // Физика Земли. 2013. № 4. С.105–110.

Абрамов Д.В., Конешов В.Н., Чебров В.Н. Совершенствование методики долговременных наблюдений относительным гравиметром CG-5 // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52, № 3. С.20–26.

ГОСТ РВ 1.1-96. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники. Основные положения. М.: Госстандарт России, 1996. 26 с.

Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Оценка предельной точности гравиметра CG-5 Autograv // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49, № 2. С.39–43.

Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Учет сейсмического воздействия на высокоточные измерения гравиметром CG-5 Autograv // Физика Земли. 2014. № 4. С.131–134.

Относительный гравиметр CG-5. Система Scmtrex Autograv: Руководство по эксплуатации. ред. 4. Онтарио: Scintrex, 2008. 156 с.

Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. Пер. с англ. / Ред. пер. О.А. Потапов. М.: Недра, 1987. 221 с.

Elsaka B. Comparison of different polynomial degrees for correcting the instrumental drift of scintrex CG-5 Autograv gravimeter // Austrian journal of basic and applied sciences. 2020. V. 14, N 5. P.19–25. DOI: 10.22587/ajbas.2020.14.5.3

Seigel H.O. A guide to high precision land gravimeter surveys. Онтарио: Scintrex, 1995. 122 p.
Yu H., Guo J., Li J., Mu D., Kong Q. Zero drift and solid Earth tide extracted from relative gravimetric data with principal component analysis // Geodesy and Geodynamics. 2015. V. 6, Issue 2. P.143–150.

Сведения об авторах

АБРАМОВ Дмитрий Владимирович – научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(496) 256-13-07. E-mail: mikrogal@yandex.ru

ДРОБЫШЕВ Николай Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7(499) 254-23-35. E-mail: nvdrobyshev@rambler.ru

МАЛЫШЕВА Дарья Алексеевна – заведующая лабораториями кафедры общей и прикладной физики, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. 600005, г. Владимир, ул. Горького, д. 87. Тел.: +7(492) 247-97-78. E-mail: dmalysheva.npa@gmail.com

ESTIMATION OF THE AMBIENT TEMPERATURE INFLUENCE ON LONG-TERM HIGH-PRECISION MEASUREMENTS WITH THE CG-5 AUTOGRAV GRAVIMETER

D.V. Abramov[1], N.V. Drobyshev[1], D.A. Malysheva[2]

[1] *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
[2] *Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletov, Vladimir, Russia*
Corresponding author: N.V. Drobyshev (e-mail: nvdrobyshev@rambler.ru)

Abstract. The influence of ambient temperature changes on the CG-5 Autograv gravimeter data was analyzed to determine the influence of meteorological factors on long-term gravimetric measurements.

The CG-5 Autograv gravimeter provides continuous measurement of the body temperature, which is an objective assessment of the ambient temperature. Experimental results of long-term observations at the gravimetric point confirm the need to take into account the change in the drift velocity of the zero point of the gravimeter caused by the change in the ambient temperature that occurs despite the operation of the thermostat.

It was found that the change in zero-point drift velocity is somewhat lagged in relation to the change in the temperature of gravimeter body. The magnitude of the inertial lag is essentially the duration of the temperature relaxation of the device, which develops depending on specific temperature dynamics. The inertial nature of the measuring system reaction of thermostated gravimeter to the change in the body temperature was described by the mathematical model of temperature relaxation. As such a model, it is proposed to consider the temperature that most accurately correlates with the drift velocity ("effective" temperature), represented as a set of first-order aperiodic links. In order to determine the parameters of the aperiodic links, reference gravimetric measurements were performed with simultaneous measurement of the gravimeter body temperature under various conditions of changing ambient temperature. The values of the parameters of aperiodic links were determined by the maximum correlation between the drift velocity of the gravimeter zero-point and the "effective" temperature.

After determining the coefficient of dependence of gravimeter drift velocity nonlinear component on the "effective" temperature, it became possible to build a model for compensating the gravimeter drift nonlinear component. As a result, the model of the nonlinear drift component compensation by the value of the "effective" temperature, together with the temperature relaxation model, can be presented as an algorithm for taking into account the influence of the ambient temperature on the nonlinear component of the gravimeter drift velocity.

Keywords: CG-5 Autograv gravimeter, zero-point drift, temperature relaxation, algorithm for taking into account the ambidient temperature influence.

Funding

This work was carried out within the framework of the state assignment of Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences.

Conflict of interest

The authors declare they have no conflict of interest.

References

Abramov D.V., Drobyshev M.N., Koneshov V.N., Estimating the influence of seismic and meteorological factors on the accuracy of measurements by relative gravimeters, *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2013, vol. 49, no. 4, pp. 548-553.

Abramov D.V., Koneshov V.N., Chebrov V.N., Improvements of long time observation technique by relative gravimeter CG-5 methodic, *Seismicheskie pribory* (Seismic Instruments), 2016, vol. 52, no 3, pp. 20-26. [In Russian].

Drobyshev M.N., Koneshov V.N., Evaluation of the gravimeter CG-5 Autograv limit accuracy, *Seismicheskie pribory* (Seismic Instruments), 2013, vol. 49, no. 2, pp. 39-43. [In Russian].

Drobyshev M.N., Koneshov V.N., Allowance for seismic impact on high-frequency measurements by the Autograv CG-5 gravimeter, *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2014, vol. 50, no. 4, pp. 588-591.

Elsaka B., Comparison of different polynomial degrees for correcting the instrumental drift of Scintrex CG-5 Autograv gravimeter, *Austrian journal of basic and applied sciences*, 2020, vol. 14, no. 5, pp. 19-25. DOI: 10.22587/ajbas.2020.14.5.3

GOST RV 1.1-96. Gosudarstvennaya sistema standartizatsii Rossiiskoi Federatsii. Metrologicheskoe obespechenie vooruzheniya i voennoi tekhniki. Osnovnye polozheniya (GOST RV 1.1-96. State system of standardization of the Russian Federation. Metrological support of weapons and military equipment. Basic provisions), Moscow: Gosstandart of Russia, 1996. [In Russian].

Hemming R.V., *Digital filters*, Mishawaka, IN, USA: Better World Books, 1983, 221 p.

Otnositel'nyi gravimetr CG-5. Sistema Scmtrex Autograv: Rukovodstvo po ekspluatatsii. red. 4 (Relative gravimeter CG-5. Scmtrex Autograv System: Operation Manual. ed. 4), Ontario: Scintrex, 2008, 156 p. [In Russian].

Seigel H.O., *A guide to high precision land gravimeter surveys*, Ontario: Scintrex, 1995, 122 p.

Yu H., Guo J., Li J., Mu D., Kong Q., Zero drift and solid Earth tide extracted from relative gravimetric data with principal component analysis, *Geodesy and Geodynamics*, 2015, vol. 6, is. 2, pp. 143-150.

About the authors

ABRAMOV Dmitriy Vladimirovich – Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. Bolshaya Gruzinskaya str., 10-1, Moscow, 123242, Russia. Ph.: +7(496) 256-13-07. E-mail: mikrogal@yandex.ru

DROBYSHEV Nikolay Vasiljevich – Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. Bolshaya Gruzinskaya str., 10-1, Moscow, 123242, Russia. Ph.: +7(499) 254-23-35. E-mail: nvdrobyshev@rambler.ru

MALYSHEVA Daria Alekseevna – Head of laboratories of the department of General and Applied Physics. Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Gorkogo str., 87, Vladimir, 600005, Russia. Ph.: +7(492) 247-97-78. E-mail: dmalysheva.npa@gmail.com