

5. Пат. 2192024 РФ. Баллистический гравиметр для симметричного способа измерений / В. Б. Гужов, Н. Н. Кокошкин, В. Д. Шурубкин // Изобретения. Полезные модели. 2007. № 18.

6. Светлов С. М. Динамическая точность баллистических гравиметров в условиях вибрационных помех // Работы по исследованию баллистических гравиметров: Сб. науч. трудов Л.: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 1988. С. 60—71.

7. Вінніченко О. І. Кінематичні схеми пускових пристроїв балістичних гравіметрів // Метрологія та прилади. 2012. № 3 (35). С. 47—53.

8. Пат. 96904 України. Балістичний гравіметр з індукційно-динамічним приводом для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння / В. Ф. Болюх, О. І. Вінніченко // Бюл. 2011. № 20.

9. Болюх В. Ф. и др. Высокоэффективный электромеханический преобразователь ударного действия // Электротехника. 2011. № 2. С. 46—53.

Дата принятия 17.07.2013 г.

528.27

Мониторинг современных вертикальных движений Северного Кавказа абсолютными и относительными гравиметрами

В. К. МИЛЮКОВ*, В. Д. ЮШКИН*, А. В. КОПАЕВ*, А. П. МИРОНОВ*,
Г. В. ДЕМЬЯНОВ**, Р. А. СЕРМЯГИН**, А. В. БАСМАНОВ**, В. В. ПОПАДЬЕВ**,
И. Ф. НАСРЕТДИНОВ**, В. Б. ЗААЛИШВИЛИ***, А. КАНУКОВ***,
Б. ДЗЕРАНОВ***

* Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ, Москва, Россия,
e-mail: milyukov@sai.msu.ru

** Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэро съемки и картографии
им. Ф. Н. Красовского, Москва, Россия

*** Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН-РСО-А,
Владикавказ, Россия

Представлены результаты измерений абсолютных значений ускорения свободного падения g на семи пунктах Северо-Кавказского региона, образующих опорную сеть для контроля вертикальных движений региона гравиметрическим методом. Для распространения сети на другие участки региона разработана методика, основанная на измерении Δg между новым и опорным пунктами высокоточным относительным гравиметром.

Ключевые слова: вертикальные движения земной коры, сила тяжести, абсолютные и относительные гравиметры.

Results of absolute gravity measurements on seven sites of Northern Caucasus region, which form a reference network for control of vertical movements of the region by a gravimetric method, are presented. To spread this network to other parts of the region without carrying out expensive absolute measurements, the technique based on measurement of the gravity increment between the new and reference sites by the high-precision relative gravity meter is developed. Two-years observations showed availability of this technique, nevertheless, for reliable determination of the site vertical movements, the observations on longer time interval are necessary.

Key words: vertical movements of the crust, gravity, absolute and relative gravity meters.

Абсолютная гравиметрия на Северном Кавказе была основана в 1994 г. в рамках международного проекта SELF (Sea Level Fluctuations). В том же году совместно со специалистами института IFAG (Германия) баллистическим гравиметром FG5 № 101 в Баксанской подземной обсерватории ГАИШ (п. Нейтрино, Кабардино-Балкария) и Зеленчукском филиале Института прикладной астрономии РАН (ст. Зеленчукская, Карачаево-Черкесия) были заложены абсолютные гравиметрические пункты [1]. Спустя 13 лет в 2007 г. специалистами ГАИШ и ЦНИИГАИК баллистическим гравиметром FG5 № 110 были проведены повторные измерения абсолютного значения силы тяжести на пунктах «Зеленчукская»

(код пункта ZECK) и «Нейтрино» (код NTRN). В 2008 г. тем же баллистическим гравиметром были выполнены повторные измерения на пункте «Нейтрино» и заложены два новых пункта в Приэльбрусье: «Азау» (код AZAU) у подножия Эльбруса (Гляциологическая станция МГУ, Кабардино-Балкария) и «Терскол» (код TRSK) на пике Терскол (Международная астрономическая обсерватория, Кабардино-Балкария). Наконец, в 2009 г. баллистическим гравиметром ГАБЛ-М были проведены повторные измерения абсолютного значения g на пунктах «Азау» и «Зеленчукская» и заложены три новых пункта в Северо-Кавказском регионе: «Нальчик» (Кабардино-Балкарский государственный университет,

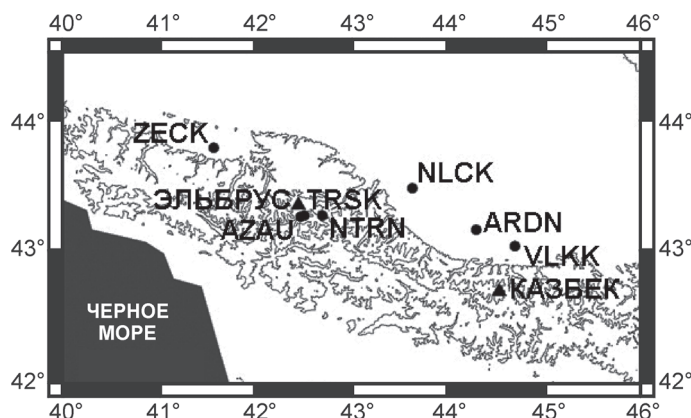
Нальчик, Кабардино-Балкария, код NLCK), «Владикавказ» (Центр геофизических исследований ВНЦ РАН, Владикавказ, Северная Осетия, код VLKK) и «Ардон» (Сейсмо-станция Геофизической службы РАН, Ардон, Северная Осетия, код ARDN).

Таким образом, сеть пунктов повторных измерений абсолютных значений g в Северо-Кавказском регионе покрывает территории трех республик — Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии, и состоит в настоящее время из семи пунктов: «Зеленчукская», «Нейтрино», «Азау», «Терскол», «Нальчик», «Владикавказ» и «Ардон» (см. рисунок).

Ряд пунктов повторных измерений абсолютных значений g совмещены со стационарными GPS/ГЛОНАСС станциями. В рамках уже упоминавшегося проекта SELF в 1993—1994 гг. на пунктах Северного Кавказа были проведены две серии GPS-измерений. Один из таких пунктов был преобразован в стационарную GPS-станцию (ст. Зеленчукская), и с 1997 г. эта станция входит в европейскую GPS-сеть EUREF (European Reference Frame) с кодом ZECK. В последующем в Северо-Кавказском регионе были созданы еще несколько стационарных GPS/ГЛОНАСС станций [2], три из них совпадают с гравиметрическими пунктами «Терскол», «Владикавказ» и «Ардон». Таким образом, на четырех пунктах Северного Кавказа оценку современных вертикальных движений можно получить двумя независимыми методами.

На пунктах абсолютной гравиметрической сети, которые не совмещены с GPS-станциями, значения вертикального подъема с достаточной точностью можно получить в результате продолжительных повторных наблюдений абсолютными гравиметрами. До недавнего времени альтернативы таким наблюдениям не было, поскольку при больших расстояниях между пунктами (более 150 км) и значительной разности высот (более 1,7 км) измерения приращений g относительными гравиметрами имели погрешности больше, чем при абсолютных измерениях. С появлением в России относительных гравиметров Scintrex CG3 и CG5 погрешности относительных измерений стали сравнимы с погрешностями абсолютных гравиметров. Так как затраты на проведение абсолютных гравиметрических измерений практически на порядок выше, чем затраты на относительные измерения, в ряде задач высокоточной гравиметрии можно успешно использовать съемку относительными гравиметрами. В частности, контроль вертикальных движений региона можно выполнять относительными гравиметрами, если там имеются опорные пункты, на которых абсолютными гравиметрами определены изменения g , а при помощи GPS-наблюдений — изменения высот. Высокоточная относительная съемка позволит связать новые пункты с опорными, и в дальнейшем на этих пунктах осуществлять мониторинг вертикальных движений. Ниже приведены результаты мониторинга вертикальных движений на Северном Кавказе абсолютными и относительными гравиметрами.

Методика относительных измерений. Пусть $g_1^{t_1}, g_2^{t_1}$ — ускорения свободного падения в пунктах 1, 2, измеренные в момент времени t_1 ; $\Delta g^{t_1} = g_1^{t_1} - g_2^{t_1}$ — изменение g в тот же момент t_1 ; соответственно $g_1^{t_2}, g_2^{t_2}$ и $\Delta g^{t_2} = g_1^{t_2} - g_2^{t_2}$ — те же



Сеть пунктов повторных определений абсолютных значений силы тяжести Северо-Кавказского региона:

ZECK — «Зеленчукская»; AZAU — «Азау»; TRSK — «Терскол»; NTRN — «Нейтрино»; NLCK — «Нальчик»; ARDN — «Ардон»; VLKK — «Владикавказ»; ▲ — вулканы Эльбрус и Казбек

величины в момент t_2 . Тогда Δg между двумя пунктами за интервал времени $\Delta t = t_2 - t_1$ выражается соотношением

$$\Delta g = \Delta g^{t_2} - \Delta g^{t_1} = \Delta g_1 - \Delta g_2 = (\Delta \tilde{g}_1 + \Delta h_1 \tilde{W}_1) - (\Delta \tilde{g}_2 + \Delta h_2 \tilde{W}_2), \quad (1)$$

где $\Delta g_i = (\Delta \tilde{g}_i + \Delta h_i \tilde{W}_i)$ — изменение гравитационного поля на пункте i ($i = 1, 2$) за время Δt из-за изменений высоты поверхности Δh_i и гравитационного поля $\tilde{g}_i$ в результате геологических, геофизических процессов; $\tilde{W}_i = W_i + 2\pi G\sigma$; W_i — измеренный вертикальный градиент g в свободном воздухе на пункте i ; $2\pi G\sigma$ — поправка Буге ($2\pi G\sigma \approx 113 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}/\text{м}$ при плотности $\sigma \approx 2,7 \text{ г/см}^3$); G — гравитационная постоянная [3].

Если изменения гравитационного поля из-за процессов, не связанных с изменением высоты, достаточно малы ($\Delta \tilde{g}_i \approx 0$), тогда

$$\Delta g = \Delta h_1 \tilde{W}_1 - \Delta h_2 \tilde{W}_2. \quad (2)$$

Если один из пунктов является опорным (например $i = 1$), для которого из геодезических наблюдений известно изменение высоты Δh_1 , то по (2) можно определить изменение высоты другого пункта, на котором не выполнялись (или забракованы) измерения высот:

$$\Delta h_2 = \Delta h_1 \tilde{W}_1 / \tilde{W}_2 - \Delta g / \tilde{W}_2. \quad (3)$$

Таким образом, для определения подъема некоторого пункта на интервале времени Δt необходимо относительным гравиметром измерить Δg между опорным и определяемым пунктами, а также измерить вертикальные градиенты g на пунктах 1 и 2.

Измерения абсолютных значений g в 1994 г. на пунктах «Зеленчукская» и «Нейтрино» были выполнены баллистическим гравиметром FG5 № 101. Измерения на каждом

пункте состояли из 24 получасовых серий, каждая серия содержала 3600 бросков пробного тела. Полученные значения приведены к высоте 1300 мм над уровнем постаменты. Вертикальные градиенты пунктов определены по разности Δg на постаменте и высоте 1300 мм.

В 2007—2008 гг. абсолютные измерения в регионе проводили с использованием баллистического гравиметра FG5 № 110. Программа измерений на каждом пункте состояла из двух циклов в северном и южном азимутах по 24 серии в каждом азимуте. Каждая серия продолжительностью 30 мин состояла из 50 бросков свободно падающего тела. После каждого полного измерения в первом азимуте прибор устанавливали в противоположный азимут, выполняли юстировку аппаратуры и полное измерение g во втором цикле. Измеренные значения g также были приведены к высоте 1300 мм над уровнем постаменты.

В 2009 г. определения абсолютных значений проводили российским абсолютным лазерным полевым гравиметром ГАБЛ-М, разработанным и созданным в Институте автоматики и электрометрии СО РАН [4], по схеме непрерывных измерений. До начала измерений проводили короткую серию, позволяющую определить устойчивость пункта, параметры фильтров и условия измерений. При малом уровне шумов количество бросков могло быть равным 50.

Вертикальные градиенты в экспедиции 2009 г. измеряли канадским относительным гравиметром CG5 № 222 фирмы Scintrex по разности Δg на высотах 273 и 1300 мм. Результаты определений абсолютных значений g на пунктах Северного Кавказа приведены в табл. 1.

Относительная гравиметрическая съемка была выполнена в июне

2010 г. и июне 2012 г. гравиметром Scintrex CG5 № 567 на абсолютных гравиметрических пунктах «Азау», «Нейтрино», «Нальчик», «Ардон», «Владикавказ». Все относительные измерения выполняли по схеме А—В—А. Во время измерений с целью введения соответствующих поправок в приращения g на всех пунктах контролировали изменения атмосферного давления. Поправки не превышали $0,2 \cdot 10^{-8}$ м/с². На всех пунктах в каждую эпоху определяли вертикальные градиенты для приведения полученных значений g разными приборами к единой высоте и изучения изменения параметров приповерхностного слоя Земли [5]. Результаты измерений приращений абсолютных значений g приведены в табл. 2; Δg приведены на высоте чувствительного элемента относительного гравиметра CG5 (273 мм над поверхностью постаменты при среднем положении подъемных винтов).

Обсуждение результатов. Уверенные оценки вертикальных движений пунктов Северного Кавказа по измерениям абсолютных значений g были получены для двух пунктов региона: «Зеленчукская» и «Нейтрино», на которых первые измерения были сделаны в 1994 г. баллистическим гравиметром FG5. Несмотря на то, что повторные измерения на этих пунктах в 2007 г. были выполнены другим прибором системы FG5, измерения были приведены к одной высоте (1300 мм) и на временном интервале 13 лет составили $\Delta g = (-5,6 \pm 2,0) \cdot 10^{-8}$ и $(-12,6 \pm 2,0) \cdot 10^{-8}$ м/с² для пунктов «Зеленчукская» и «Нейтрино». Для плотности окружающих пород 2,7 г/см³ и при среднем изменении $\Delta g = -1,9 \cdot 10^{-8}$ м/с² на 10 мм подъема полученные изменения Δg дают скорости подъема $(2,2 \pm 0,7)$ и $(5,1 \pm 0,7)$ мм/год для тех же пунктов. В 2008 г. на пункте «Нейтрино» повторные измерения при-

Таблица 1

Результаты измерений абсолютного значения g на пунктах Северного Кавказа (приведены к высоте 1300 мм над маркой)

Пункты (высота над уровнем моря)	Год измерения	$\Delta g/\Delta h \cdot 10^8$, м · с ⁻² /м	$g \cdot 10^8$, м/с ²	Прибор
Зеленчукская (1166 м)	1994 2007 2009	-281,5	xxxx49139,3 ± 2,6 xxxx49133,7 ± 1,7 xxxx49136,2 ± 1,4	FG5 № 101 FG5 № 110 ГАБЛ-М
Нейтрино (1720 м)	1994 2007 2008	-234,3	xxxx09680,8 ± 2,6 xxxx09668,2 ± 1,9 xxxx09666,7 ± 1,9	FG5 № 101 FG5 № 110 FG5 № 110
Терскол (3122 м)	2008	-309,0	xxxx72002,5 ± 1,9	FG5 № 110
Азау (2334 м)	2008 2009	-247,1 -247,1	xxxxxx24416,0 ± 1,9 xxxxxx24421,1 ± 1,8	FG5 № 110 ГАБЛ-М
Нальчик (530 м)	2009	-280,2	xxxx99185,9 ± 2,1	ГАБЛ-М
Владикавказ (684 м)	2009	-284,9	xxxx32416,8 ± 1,7	ГАБЛ-М
Ардон (399 м)	2009	-307,0	xxxx89226,9 ± 0,7	ГАБЛ-М

Таблица 2

Результаты определений Δg между пунктами Северного Кавказа абсолютными и относительными гравиметрами

Пункты (расстояние между ними)	Год измерения	$\Delta g \cdot 10^8$, м/с ²	Прибор
Ардон—Владикавказ (41 км)	2009 2010 2012	56 831 ± 2 56 830 ± 3 56 832 ± 2	ГАБЛ-М CG5 CG5
Нальчик—Азау (150 км)	2009 2010 2012	474 799 ± 3 474 799 ± 2 474 800 ± 2	ГАБЛ-М CG5 CG5
Нейтрино—Азау (18 км)	2008 2010 2012	85 239 ± 3 85 239 ± 2 85 239 ± 2	FG5 CG5 CG5
Нальчик—Нейтрино (130 км)	2010 2012	389 560 ± 2 389 561 ± 2	CG5 CG5

бором FG5 были выполнены в третий раз. На временном интервале 14 лет значение $\Delta g = (-14,1 \pm 2,0) \cdot 10^{-8}$ м/с², что соответствует скорости подъема $(5,3 \pm 0,7)$ мм/год. Таким образом, среднее значение подъема пункта «Нейтрино» по двум оценкам равно $(5,2 \pm 0,7)$ мм/год. Поскольку повторные измерения на пункте «Зеленчукская» в 2009 г. проводили прибором ГАБЛ-М, оценку подъема по разности измерений в 1994 и 2009 гг. не делали.

На пункте «Азау» были сделаны повторные измерения абсолютными гравиметрами FG5 и ГАБЛ-М (см. табл. 1). Но короткий интервал времени между наблюдениями (1 год) и возможные неучтенные систематические погрешности измерений, связанные с применением приборов разных систем, не позволили получить оценку подъема этого пункта.

Как указано выше, в регионе существуют стационарные станции наблюдений спутников GPS/ГЛОНАСС, которые дают независимую оценку вертикальных движений этих станций. В табл. 3 приведены оценки вертикальных скоростей пунктов Северного Кавказа по гравиметрическим и геодезическим данным, а в табл. 4 — измеренные (абсолютными гравиметрами) и прогнозируемые (из геодезических оценок скоростей подъема) изменения g на этих пунктах.

Таблица 3

Оценки скоростей вертикальных движений пунктов Северного Кавказа по гравиметрическим и геодезическим данным

Пункт	Вертикальная скорость, мм/год, по данным		$\Delta g \cdot 10^8$, м/с ² в год
	гравиметрии	геодезии	
Зеленчукская	$2,2 \pm 0,7$	$(2,0 \pm 0,7)^*$	-0,41
Нейтрино	$5,2 \pm 0,7$	—	-1,00
Терскол	—	$(5,6 \pm 0,5)^*$	-1,06
Азау	—	—	—
Нальчик	—	$(0 \pm 1,0)^{**}$	0
Владикавказ	—	$(-1,1 \pm 0,7)^*$	0,321
Ардон	—	$(-2,5 \pm 0,7)^{**}$	0,47

* По данным Северо-Кавказской региональной сети стационарных станций наблюдения спутников GPS/ГЛОНАСС (ГАИШ МГУ).

** Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР (СВДЗК). М.: Главное управление геодезии и картографии при СМ СССР, 1989.

Таблица 4

Ожидаемые и измеренные Δg между пунктами за два года

Пункты (расстояние между ними)	$\Delta g \cdot 10^8$, м/с ²	
	ожидаемое	измеренное
Ардон — Владикавказ (41 км)	0,9	2 ± 2
Нальчик — Азау (150 км)	2,8	1 ± 2
Нейтрино — Азау (18 км)	0,14	0 ± 2
Нальчик — Нейтрино (130 км)	2,6	1 ± 2

В табл. 3 отсутствует оценка вертикальной скорости пункта «Азау». Но поскольку расстояния между пунктами «Нейтрино», «Азау» и «Терскол» не превышают 18 км (см. рисунок), а пункты «Нейтрино» и «Терскол» поднимаются практически с одинаковой скоростью, с большой долей вероятности можно предположить, что «Азау» поднимается с такой же скоростью (оценим ее как среднюю скорость для пунктов «Нейтрино» и «Терскол», т. е. 5,6 мм/год). Основываясь на данных по вертикальным движениям пунктов и измеренных вертикальных градиентах (см. табл. 1, 3), по формуле (2) можно оценить ожидаемые за некоторый интервал времени изменения Δg между двумя пунктами. Эти оценки для двухлетнего интервала приведены в табл. 4, где указаны Δg , вычисленные по значениям приращений, измеренным относительным гравиметром в 2010 и 2012 гг. (см. табл. 2).

Как следует из табл. 4, наибольшее изменение g следует ожидать для пунктов, наиболее удаленных друг от друга: «Нальчик» — «Азау» (150 км) и «Нальчик» — «Нейтрино» (130 км). Измеренные значения изменений в пределах погрешностей не отличаются от ожидаемых, тем не менее, точность измерений недостаточна, чтобы значимо выявить измеряемую величину на данном временном интервале. Можно ожидать, что на 5—6-летнем интервале наблюдений изменение Δg между наиболее удаленными пунктами достигнет $(7—8) \cdot 10^{-8}$ м/с², которые можно уверенно измерить современными относительными гравиметрами.

Заключение. В Северо-Кавказском регионе создана сеть пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести, которая покрывает территории трех республик: Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии, и состоит из семи пунктов: «Зеленчукская», «Нейтрино», «Азау», «Терскол», «Нальчик», «Владикавказ» и «Ардон». Эти пункты рассматриваются как опорные для контроля современных вертикальных движений региона. Всего в регионе было проведено четыре серии измерений абсолютных значений g : в 1994, 2007—2009 гг. Измерения проводили абсолютными гравиметрами FG5 № 101 (1994 г.), FG5 № 110 (2007, 2008 гг.) и ГАБЛ-М (2009 г.).

Для двух пунктов «Зеленчукская» и «Нейтрино», которые были заложены в 1994 г., на 13-летнем интервале наблюдений получены оценки скоростей вертикальных движений. Независимая оценка вертикального движения пункта «Зеленчукская» по GPS-данным показывает хорошее совпадение с оценкой по гравиметрическим данным. Поскольку гравиметрический пункт «Нейтрино» находится в подземной лаборатории, GPS-оценки вертикального движения этого пункта не существует. Тем не менее, на расстоянии 15 км имеется стационарная

GPS/ГЛОНАСС станция «Терскол» Северо-Кавказской региональной сети, которая дает похожую оценку скорости вертикального движения. Таким образом, два независимых метода дают совпадающие и поэтому достаточно достоверные оценки скоростей подъема рассматриваемых пунктов.

Что касается вертикальных движений Северо-Кавказского региона в целом, можно отметить следующее. Равнинная осетинская часть Северного Кавказа (пункты «Владикавказ», «Ардон») имеет отрицательные скорости, т. е. опускается. Также невысокая предгорная часть Кабардино-Балкарии (пункт «Нальчик») по геодезическим данным практически не имеет вертикального движения. Естественно,

наибольшую скорость подъема демонстрирует наиболее высокая часть Северного Кавказа — Приэльбрусье (пункты «Терскол» и «Нейтрино»). Скорость подъема этого региона 5—5,5 мм/год. Наконец, северная часть Северного Кавказа (пункт «Зеленчукская») имеет умеренный устойчивый подъем 2—2,2 мм/год.

Гравиметрический метод дает достаточно надежную оценку вертикальных движений. При этом дорогостоящие абсолютные гравиметрические определения могут быть заменены на измерения приращения g между определяемым и опорным (на котором известно абсолютное значение g) пунктами высокоточным относительным гравиметром. Затраты на проведение таких измерений будут существенно ниже. Для проверки этого метода на двухлетнем интервале наблюдений была выполнена связь между рядом пунктов Северо-Кавказской сети относительным гравиметром Scintrex CG5. Измеренные значения приращений между пунктами имеют среднеквадратические погрешности, сравнимые с погрешностями абсолютных измерений. Таким образом, с использованием высокоточных относительных гравиметров сеть пунктов для контроля вертикальных движений можно значительно расширить. Это особенно актуально для труднодоступных районов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-05-00475).

Литература

1. Wilmes H. e. a. First absolute gravity campaign in the Caucasus Region and its relation to the detection of height variations // IGC/ICG Joint Meeting: Abstar. Graz (Austria), 1994.
2. Milyukov V. K. e. a. Monitoring crustal deformations in the Northern Caucasus using a high precision long base laser strainmeter and the GPS/GLONASS network // J. Geodyn. 2010. V. 49. P. 216—223.
3. Огородова Л. В., Юзefович А. П. Гравиметрия. М.: Недра, 1993.
4. Юшкин В. Д. и др. Измерения новым полевым баллистическим гравиметром ГАБЛ-М в условиях тундры // Измерительная техника. 2011. № 10. С. 3—9; Yushkin V. D. e. a. Measurements with the new GABL-M field ballistic gravimeter under tundra conditions // Measurement Techniques. 2011. V. 54. N 10. P. 1111—1116.
5. Юшкин В. Д. Влияние поверхностного слоя Земли на ускорение свободного падения // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 8—11; Yushkin V. D. Effect of the earth's surface layer on the acceleration of gravity // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N 5. P. 497—501.

Дата принятия 11.07.2013 г.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

62-91:004.023:629.7.017

Оценка метрологической надежности средств измерений в условиях неполных данных

А. А. КОРОВАЙЦЕВ, М. И. ЛОМАКИН, А. В. ДОКУКИН

СТАНДАРТИНФОРМ, Москва, Россия, e-mail: lmi@gostinfo.ru

Рассмотрена задача оценки метрологической надежности средств измерений в условиях неполных данных, представленных малыми выборками значений метрологического ресурса. Предложен подход к такой оценке, базирующийся на методе моментов. Приведены аналитические выражения и примеры оценки метрологической надежности.

Ключевые слова: метрологическая надежность, функция распределения, метод моментов.

The problem of estimating the metrological reliability of measuring instruments at incomplete data presented by small samples of metrological resource values is considered. An approach to metrological reliability assessment based on the method of moments is suggested. The analytical expression and example of metrological reliability estimation are presented.

Key words: metrological reliability, distribution function, method of moments.

Метрологическая надежность является одной из важнейших характеристик качества средств измерений (СИ). Под метрологической надежностью понимают свойство СИ сохранять метрологические характеристики (МХ) в пределах установленных норм во время эксплуатации в заданных режимах и при определенных условиях использования, техни-

ческим обслуживании, хранении и транспортировке. Следовательно, метрологическая надежность определяется характером и темпом изменения нормируемых согласно стандарту [1] МХ исследуемого СИ.

В существующей практике оценки метрологической надежности классическая теория надежности с пуассонов-