

УДК 550.3

© В. Б. Дубовской, В. И. Леонтьев, А. В. Сбитнев, В. Г. Жильников

ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Рассмотрен ряд оригинальных разработок Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) в области гравиинерциальных и деформометрических измерений. Опытные образцы этих разработок успешно используются для измерения ускорений, гравитационного поля, наклонов и деформаций земной коры при решении широкого спектра фундаментальных и прикладных задач геофизики и геодинамики.

Кл. сл.: акселерометр, деформационный мониторинг, гравиметр, микроnivelир, скважинный инклинометр

ВВЕДЕНИЕ

Гравиинерциальные приборы используются для решения многих фундаментальных и прикладных задач геофизики, экологической безопасности, градостроительстве и тесно связаны с прогрессом в области разработки аппаратуры и совершенствованием методик наблюдений [1].

В статье кратко представлены некоторые оригинальные разработки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) для наземных и спутниковых геофизических исследований, обладающие высокой точностью и оперативностью.

ГРАВИМЕТР ГАГ-3М

Один из наиболее хорошо зарекомендовавших себя методов поиска полезных ископаемых, выявления ослабленных зон земной коры и решения многих других прикладных и фундаментальных задач геофизики — наземная высокоточная гравиметрическая съемка.

ИФЗ РАН участвовал в разработке, испытаниях и запуске в производство геодезического кварцевого гравиметра ГАГ-3.

Гравиметр ГАГ-3М (см. табл. 1 и Приложение, рис. П1) представляет собой модернизированный в ИФЗ РАН вариант ГАГ-3 [2], который по основным параметрам превосходит отечественные и зарубежные аналоги. Модернизированный гравиметр позволяет производить измерения в реальных полевых условиях на уровне величины броуновских шумов и выполнять качественные измерения на фоне значительных акустических и сейсмических помех.

Гравиметр ГАГ-3М успешно использовался при геофизических исследованиях в России и за рубежом для изучения тонкой структуры гравитационного поля на площадках Ленинградской атомной станции (ЛАЭС), Храма Христа Спасителя, Москва-Сити, выявления неприливных вариаций гравитационного поля Земли на Ленинградском полигоне, картирования плотностных неоднородностей на многих ответственных объектах в Западной Сибири, в зоне Вранча в Румынии и др.

Табл. 1. Технические данные гравиметра ГАГ-3М

Смещение нуля-пункта при термостатировании 40°C в сутки, мГал		≤ 0.3
Разрешение электрического отсчетного устройства, мкГал	при диапазоне измерения $\Delta g = 100$ мГал	0.67
	при диапазоне измерения $\Delta g = 10$ мГал	0.07
Энергопотребление гравиметра, Вт		≤ 2
Масса гравиметра с аккумулятором, кг		≤ 5

МИКРОНИВЕЛИР НИ-3

Основной метод мониторинга деформационных процессов зданий и сооружений — высокоточное нивелирование. Применение этого метода связано с необходимостью прямой видимости контролируемых точек и осложнено ошибками, связанными с рефракцией, неблагоприятными погодными условиями.

В ИФЗ РАН разработана альтернативная система наблюдений, свободная от перечисленных

Табл. 2. Технические характеристики микронивелира НИ-3

База измерений, м	1.5
Диапазон измерения углов наклона, угл. с	$\pm 4000 (2 \times 10^{-2} \text{ рад})$
Разрешение, угл. с	$\pm 0.5 (2.5 \times 10^{-6} \text{ рад})$
Масштабный коэффициент, угл. с/В	500
Нелинейность, %	0.01
Температурный коэффициент, угл. с/°С	0.2–0.5
Питание, В	± 9
Энергопотребление микронивелира, Вт	0.2
Габариты, м	$1.5 \times 0.08 \times 0.04$
Масса, кг	2.7

недостатков и не уступающая ей по точности. Это микронивелир с цифровым отсчетом с разрешением 2.5×10^{-6} рад, база 1.5 м (табл. 2), что по отношению к стандартному шагу нивелирных измерений сооружений (10 м) соответствует погрешности нивелирования 0.02 мм [3]. Преимущество микронивелирных измерений заключается в том, что нет необходимости в прямой видимости марок; отсутствуют ошибки, связанные с рефракцией; высокая оперативность метода; работу выполняет один человек.

Этот микронивелир в разных модификациях широко использовался при деформационном мониторинге наиболее ответственных строек Москвы: ТРК "Манежная площадь", Хорватский дом, Итальянский дом и т. д. Сравнение значений осадок здания, измеренных нивелиром Ni-007 и микронивелиром НИ-3, показало их хорошее совпадение.

СКВАЖИННЫЙ ИНКЛИНОМЕТР НИ-2

В ИФЗ РАН была разработана и использована на многих объектах Москвы специальная методика и создана оригинальная конструкция прибора

для определения планового положения ствола скважины на разных горизонтах с погрешностью не более 1 мм, что позволяет решать широкий круг задач мониторинга смещений геомассива и деформаций строительных конструкций. Это — двухкоординатный скважинный инклинометр НИ-2 [4].

В каждой точке измерений погрешности за счет ухода нуля измерительного устройства исключаются при повороте измерительной системы с помощью жестких на скручивание штанг на 180° . Измерения выполняются дискретно с пошаговым опусканием прибора на фиксированное расстояние 2 м. Технические характеристики инклинометра НИ-2 представлены в табл. 3.

В Приложении на рис. П2 показан пример изучения оползневых процессов скважинным инклинометром НИ-2 на берегу реки Москва. По графикам четко выявляются размер, горизонт "зеркала скольжения" оползневого склона и динамика процесса.

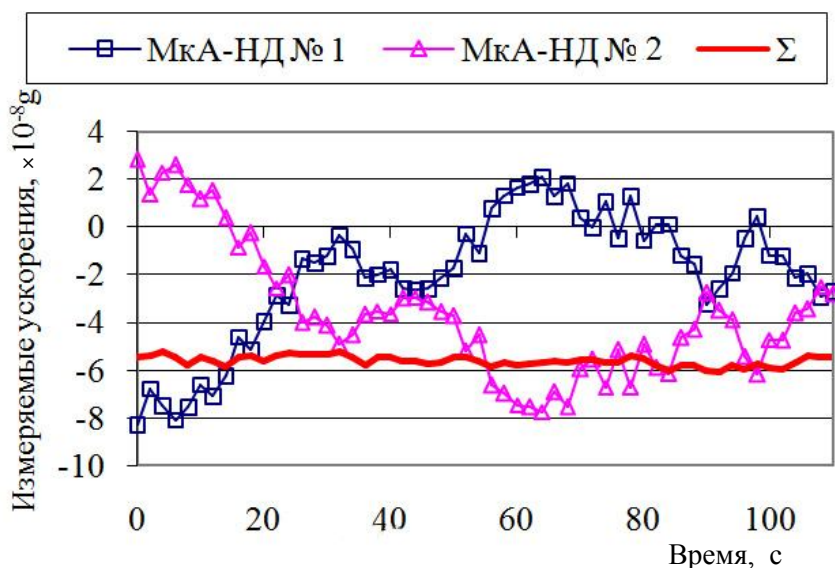
Скважинный инклинометр НИ-2 использовался при инженерных изысканиях и изучении оползневых процессов в России и за рубежом (а/с "Бушер")

Табл. 3. Основные технические характеристики инклинометра НИ-2

Точность измерения	углов, угл. с	1–2
	планового смещения, мм	± 0.1
Точность измерения температуры, °С		$\pm 0.02^\circ$
Глубина измерения, м		до 100
Шаг измерений по глубине, м		2
Точность фиксирования по азимуту, угл. с		60
Энергопотребление инклинометра, Вт		0.1–0.2
Габариты, м	диаметр, высота	0.07, 2
Диаметр скважины, мм		75–120

Табл. 4. Основные технические характеристики МкА-НД

Диапазон (два диапазона), g	8×10^{-5} и 8×10^{-4}
Масштабный коэффициент, g/V	2×10^{-5}
Разрешение, g	2×10^{-9}
Нелинейность, %	0.1
Частотный диапазон, Гц	0.1–0.001
Выходной сигнал, В	± 4
Температурный диапазон, °С	-20...+50
Температурный коэффициент, %/°С	0.03
Энергопотребление, Вт	< 1
Габариты, мм	115×55×65
Вес, г	350



Регистрация ускорений двумя микроакселерометрами МкА-НД, установленными на антисейсмической платформе в противофазе, и их суммарный сигнал

СПУТНИКОВЫЙ МИКРОАКСЕЛЕРОМЕТР МкА-НД

МкА-НД является наиболее высокоточной отечественной разработкой в области акселерометрии (см. табл. 4) для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач. Например, уточнение параметров глобальной модели гравитационного поля Земли в составе спутниковых гравиградиентометрических проектов, использование в системах спутниковой инерциальной навигации, уточнение эфемерид спутников ГЛОНАСС, изучение океанической циркуляции, изучение внутреннего строения Земли, решение задач геодинамики, прогноза природных катастроф и другие области.

На рисунке приведен пример определения шумовых характеристик микроакселерометров в наземных условиях с использованием антисейсмической платформы. Суммарный сигнал двух датчиков микроускорений (МкА-НД), установленных на антисейсмической платформе в противофазе, является объективной характеристикой верхнего предела шумов [5].

При измеряемых ускорениях в диапазоне $\pm 5 \times 10^{-9} g$ амплитуда суммарного сигнала двух акселерометров составила величину $\pm 1 \div 2 \times 10^{-9} g$, что является верхним пределом определения шумовых характеристик испытываемых приборов в наземных условиях.

Предыдущие модели этого типа (ИМУ-128), разработанные ИФЗ РАН совместно с ЦНИИ-

МАШ, с 1981 г. успешно функционировали на орбитальных станциях "Салют", "Мир" и в настоящее время являются штатными приборами МКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нестандартные подходы ИФЗ РАН при создании оригинальных разработок в области высокоточной гравиинерциальной аппаратуры позволяют решать широкий круг задач в области геодезии,

геофизики, экологии, дистанционного зондирования Земли.

Все рассмотренные разработки фактически являются высокочувствительными акселерометрами. Они построены по одной и той же технологии и за счет оригинальных конструктивных и методических подходов способны решать на новом уровне широкий круг прикладных и фундаментальных проблем геофизики.

ПРИЛОЖЕНИЕ

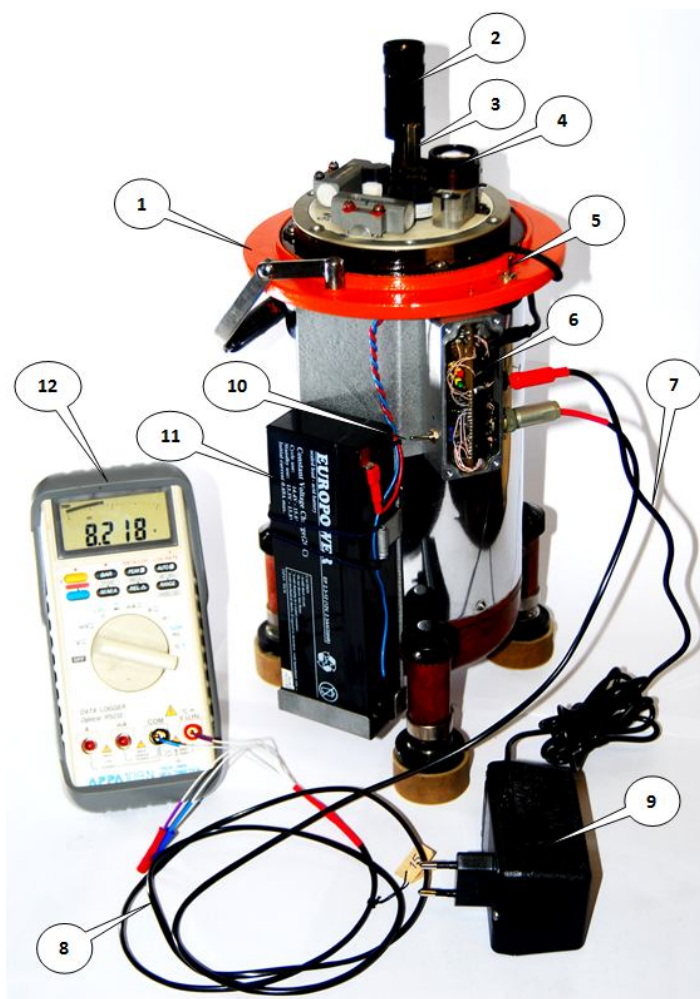


Рис. П1. Внешний вид гравиметра ГАГ-3М.

1 — корпус гравиметра; 2 — окуляр; 3 — измерительный винт; 4 — отсчетное устройство; 5 — выключатель света; 6 — блок электроники; 7 — кабель питания; 8 — информационный кабель; 9 — блок питания; 10 — выключатель блока электроники; 11 — аккумулятор 12 В, 2,3 А·ч; 12-мультиметр APPA 109 N

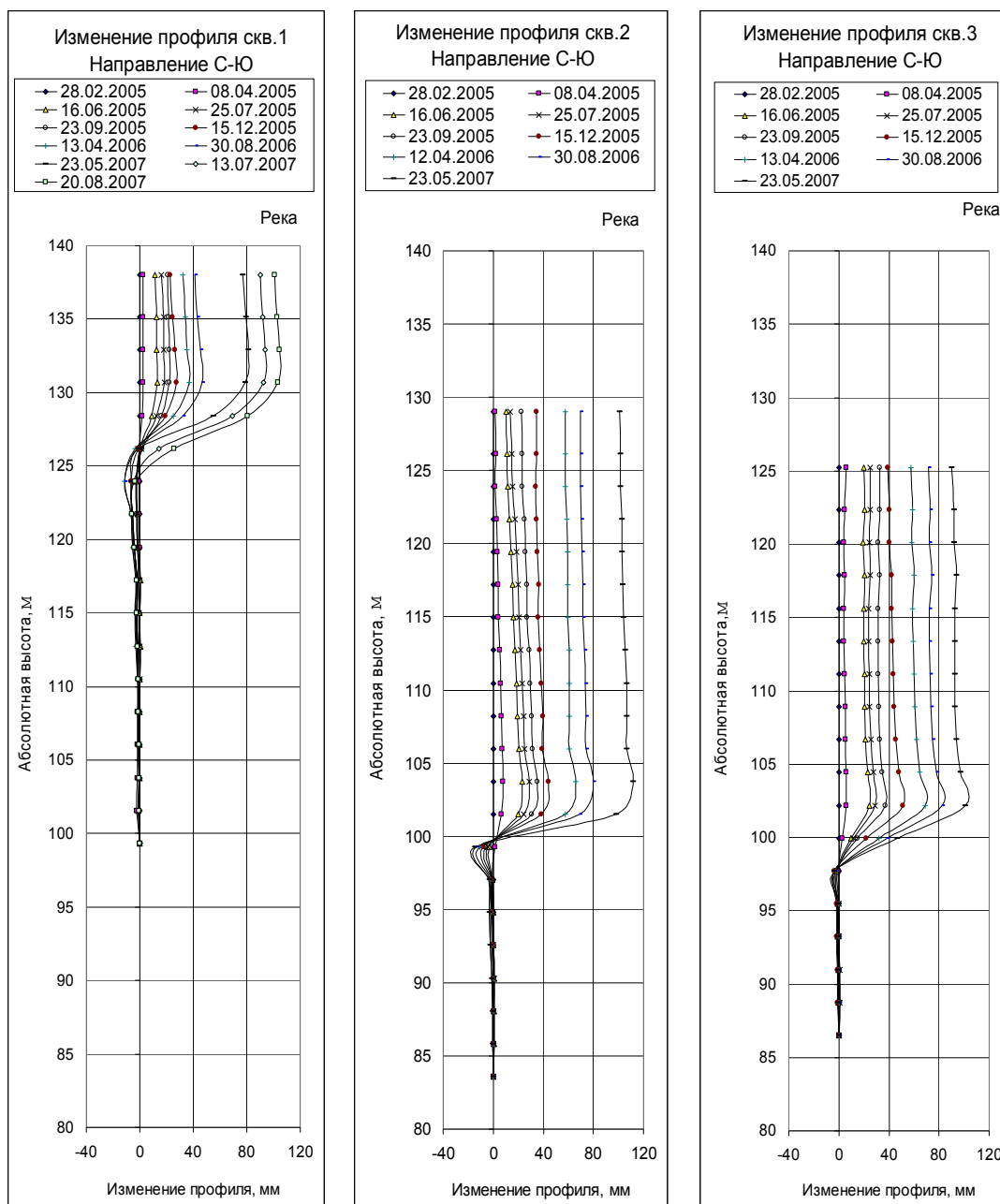


Рис. П2. Результаты двухлетних измерений скважинным инклинометром НИ-2 на оползневом склоне в г. Москве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев А.В., Башилов И.П., Shou K.J., Свалова В.Б., Манукин А.Б., Зубко Ю.Н., Бехтерев С.В., Казанцева О.С., Ребров В.И., Волосов С.Г., Королев С.А. Сейсмо-деформационный мониторинг экологически опасных объектов и опасных природных процессов // Мониторинг. Наука и технологии. 2011. № 2. С. 6–18.
2. Дубовской В.Б., Жильников В.Г., Леонтьев В.И., Сбитнев А.В. Наземные геофизические исследования: измерительные средства // Наука и технологические разработки. М., 2016. Т. 95, № 4. Ч. 2. С. 19–25.
3. Дубовской В.Б., Жильников В.Г., Леонтьев В.И., Сбитнев А.В. Микронивелир НИ-3 // Гравиметрия и геодезия. М.: Научный мир, 2010. С. 495–497.

4. Дубовской В.Б., Леонтьев В.И., Латышев Д.Д., Сбитнев А.В., Четверикова А.А. Сквaziнный инклинометр НИ-2 // Гравиметрия и геодезия. М.: Научный мир, 2010. С. 497–500.
5. Дубовской В.Б., Беляев М.Ю., Леонтьев В.И. и др. Современное состояние и перспективы спутниковой акселерометрии и градиентометрии // Альманах современной метрологии. Моск. обл., г. Менделеево, ВНИИФТРИ, 2015. № 3. С. 84–97.

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), г. Москва

Контакты: Дубовской Владимир Борисович,
dubovskoi@yandex.ru

Материал поступил в редакцию: 29.12.2016

POSSIBILITIES OF IMPROVING THE GRAVIINERTIAL GEOPHYSICAL EQUIPMENT

V. B. Dubovskoi, V. I. Leontyev, A. V. Sbitnev, V. G. Zhilnikov

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow, Russia

A number of original research of IPE RAS in the field of graviinertial and strainmeter changes. Prototypes of these developments have been successfully used to measure the gravitational field, inclinations and deformations of the earth's crust in solving a wide range of fundamental and applied problems of geophysics and geodynamics.

Keywords: accelerometer, deformation monitoring, gravimeter, microleveling, borehole inclinometer

REFERENCES

1. Nikolaev A.V., Bashilov I.P., Shou K.J., Svalova V.B., Manukin A.B., Zubko Yu.N., BechtereV S.V., Kazanzeva O.S., Rebrov V.I., Volosov S.G., Korolev S.A. [Seismo-straining monitoring of ecologically dangerous objects and natural hazards]. *Monitoring. Nauka i tehnologii* [Monitoring. Science and technologies], 2011, no. 2, pp. 6–18. (In Russ.).
2. Dubovskoi V.B., Zhilnikov V.G., Leontyev V.I., Sbitnev A.V. [Land geophysical surveys: measuring tools]. *Nauka i tehnologicheskie razrabotki* [Science and technological developments], Moscow, 2016, vol. 95, no. 4, part. 2, pp. 19–25. (In Russ.).
3. Dubovskoi V.B., Zhilnikov V.G., Leontyev V.I., Sbitnev A.V. [Microlevel NI-3]. *Gravimetriya i geodeziya* [Gravitation measurements and geodesy], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2010, pp. 495–497. (In Russ.).
4. Dubovskoi V.B., Leontyev V.I., Latyshev D.D., Sbitnev A.V., Четверикова А.А. [Well inclinometer NI-2]. *Gravimetriya i geodeziya* [Gravitation measurements and geodesy], Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2010, pp. 497–500. (In Russ.).
5. Dubovskoi V.B., Belyaev M.Yu., Leontyev V.I. et al. [The current state and prospects of a satellite akselerometriya and gradiyentometriya]. *Al'manach sovremennoy metrologii* [Almanac of the modern metrology], Mosk. region., g. Mendeleev, VNIIFTRI, 2015, no. 3, pp. 84–97. (In Russ.).

Contacts: *Dubovskoi Vladimir Borisovich*,
dubovskoi@yandex.ru

Article received in edition: 29.12.2016