

УДК 550.3+626+699.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИЗ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КРУПНЫХ МЕХАНИЗМОВ

© 2017 г. В.И. Осика<sup>1</sup>, Б.М. Кочетков<sup>2</sup>, Е.И. Павлов<sup>3</sup>,  
И.П. Качан<sup>3</sup>, В.А. Пчелинцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ООО «Петрол спринг», г. Тула, Россия

<sup>3</sup>ООО «Оптические измерительные системы» г. Москва, Россия

**Аннотация.** В Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) разработана технология изготовления стабильных малогабаритных наклономеров и короткобазисных деформометров из кварцевого стекла и на ее основе созданы датчики различных параметров, имеющие в настоящее время применение в гидроэнергетике, горной промышленности и гражданском строительстве. В статье представлены несколько приборов с датчиками из кварцевого стекла. Приведены характеристики этих приборов и описаны созданные на их основе многофункциональные измерительные комплексы — система мониторинга несущих конструкции строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ» и комплекс для контроля макронеровностей рабочей поверхности дисков подпятников и уклона вала гидроагрегатов ГЭС. Показано, что применение разработанной технологии обеспечивает высокую точность и долговременную стабильность параметров наклономеров и деформометров, применяемых для мониторинга различных строительных сооружений и геометрического контроля прецизионного выставления крупных механизмов.

**Ключевые слова:** наклономер, угломер, деформометр, акселерометр, шелемер, система измерения углов наклона, композитный датчик, кварцевые системы, мониторинг инженерных сооружений, геотехнический мониторинг.

### Введение

При создании любого крупного объекта на территории его размещения происходит эволюция природно-технической системы, что определяет необходимость соответствующего мониторинга (режимных наблюдений) на территории самого объекта и в некоторой его окрестности. Возникает потребность контролировать стабильность положения его основных сооружений и их оснований [Пашкин и др., 2008; Багмет и др., 2012]. Для этих целей традиционно применяется повторная геодезическая съемка на объекте. К сожалению, только одних, как правило, редких геодезических измерений недостаточно для надежного мониторинга, ввиду чего требуется комплексировать их с другими непрерывными измерениями [Галаганов и др., 2015].

Для контроля линейных деформаций и деформаций сдвига конструкций используются деформометры сжатия–растяжения, а для контроля углов наклона — наклонометры. В этом случае принципиально возможно предупреждение аварийных ситуаций, которые могут возникнуть при превышении допустимых деформаций для данного сооружения, определяемых на этапе проектирования объекта.

За последние десятилетия резко увеличилась вероятность возникновения техногенных аварий и катастроф, связанных с разрушением зданий или инженерных сооружений. В 2008 г. правительством Москвы было вынесено Постановление № 375-ПП о том, что системами мониторинга должны быть оборудованы все технически сложные объекты (речные порты,

аэропорты, мосты и тоннели, метрополитены, крупные промышленные объекты с численностью занятых более 10 тыс. человек), высотные и уникальные объекты, а также объекты с массовым пребыванием людей [Постановление..., 2008].

Установка систем мониторинга, благодаря своевременному обнаружению на ранней стадии негативного изменения состояния (напряженно-деформированного состояния) несущих конструкций, гарантирует снижение риска утраты несущей конструкцией свойств, определяющих ее надежность. Это предотвращает разрушения и переход сооружения в ограниченно работоспособное, аварийное состояние.

Приборы для систем такого мониторинга должны удовлетворять достаточно жестким требованиям и сохранять высокую стабильность метрологических характеристик в течение длительного времени. Особенно это важно для датчиков. Опыт показывает, что в качестве таких датчиков целесообразно использовать датчики из кварцевого стекла.

На основе разработанной в ИФЗ РАН в 1990-х годах под руководством проф. Е.И. Попова технологии изготовления стабильных малогабаритных наклонномеров и короткобазисных деформометров из кварцевого стекла, были созданы различные датчики, имеющие в настоящее время применение в гидроэнергетике, горной промышленности и в гражданском строительстве [Ловчиков, Осика, 1994; Коридалин, Осика, 2008]. Применяемая технология обеспечивает долговременную стабильность основных параметров первичных датчиков при относительной простоте их изготовления, что является главной целью при разработке аппаратуры для режимных наблюдений. Создание кооперации с малыми предприятиями позволило организовать изготовление первичных датчиков из кварцевого стекла с использованием метода сварки и перейти на современную элементную базу в части электроники, используемой для преобразования малых механических перемещений чувствительного элемента в цифровой электрический сигнал.

В настоящей статье описаны некоторые измерительные приборы с датчиками из кварцевого стекла и созданные на их основе многофункциональные измерительные комплексы — система мониторинга несущих конструкции строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ» и комплекс для контроля макронеровностей рабочей поверхности дисков подпятников и уклона вала гидроагрегатов ГЭС.

### **Система мониторинга несущих конструкции строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ»**

Система мониторинга несущих конструкции строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ» предназначена для непрерывного или периодического контроля состояния инженерных конструкций и оснований зданий и сооружений (внесена в реестр средств измерений, № 64409-16). Система представляет собой комплекс оборудования и пакет программного обеспечения, который реализует поддержание рабочих режимов и управляющих воздействий в заданных пределах.

Комплекс технических средств, входящих в «СМНК-СТРАЖ», позволяет создавать следующие подсистемы мониторинга, отличающиеся по функциональному назначению:

- подсистемы мониторинга напряженно-деформированного состояния;
- подсистема измерений угловых перемещений несущих конструкций строительных сооружений;
- подсистемы мониторинга вибрационных воздействий.

#### *Подсистемы мониторинга напряженно-деформированного состояния*

Подсистемы мониторинга напряженно-деформированного состояния обеспечивают контроль напряжений в строительных конструкциях, в частности измерение раскрытия трещин, измерение деформаций металла с помощью накладных или привариваемых датчиков, измерений деформации бетона с помощью накладных и закладных деформометров. В качестве измерительного оборудования используются: устройства сбора данных USD-A8, двухосевные тензодатчики ТД120, тензометрические щелемеры ТЩ120, накладные кварцевые деформометры ДК200, закладные композитные датчики деформаций КД120.

Композитный датчик деформации КД120 (рис. 1) закладывается в тело бетона при бетонировании конструкции и применяется для измерения деформаций как в процессе твердения бетона, так и в течение жизненного цикла конструкции. В отличие от аналогов, данное устройство создает в несколько раз меньшие концентрации напряжений. Датчик деформации представляет собой стержень композитной

арматуры, оборудованный тензорезистивным делителем напряжения и кабелем. Предельное удлинение составляет 2%. Для сбора данных используется устройство USD-A8-1.

Для измерения микродеформаций разработаны кварцевые деформометры ДК 200 (навесной автоматический экстензометр) (рис. 2). Они предназначены главным образом для высокостабильных измерений деформаций материалов, возможен длительный непрерывный или периодический мониторинг ответственных сооружений. Отличительными особенностями ДК 200 являются: кварцевая механика, проведение поверки без демонтажа, использование двойной гальванической развязки — по питанию и интерфейсу, цифровой интерфейс RS-485, встроенная охранная сигнализация. Основные технические характеристики деформометра приведены в табл. 1.

*Подсистема измерений угловых перемещений несущих конструкций строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ»*

Подсистема измерений угловых перемещений несущих конструкций строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ» осуществляет непрерывный мониторинг углов наклона при долговременном мониторинге строительных сооружений, горных выработок, оползневых склонов и др. Она состоит из угломеров ИН 120 (рис. 3). Чувствительная часть прибора изготовлена из плавленного кварцевого стекла. Интерфейс — цифровой, RS 485. Для подключения используется кабель «витая пара», через который также подается питание. Имеется двойная гальваническая развязка по питанию и по интерфейсу. Основные характеристики представлены в табл. 2.

*Подсистема мониторинга вибрационных воздействий*

Подсистема мониторинга вибрационных воздействий состоит из акселерометра трехосевого АК 002 (рис. 4). Она предназначена для оценки и уменьшения механических колебаний и виброизоляции. Имеет синхронизацию относительно опорной шкалы времени нескольких устройств, подключенных к одному контроллеру, что необходимо для идентификации собственных частот и форм колебаний строительных сооружений, а также для выполнения комплекса



Рис. 1. Композитный деформометр



Рис. 2. Деформометр кварцевый ДК 200

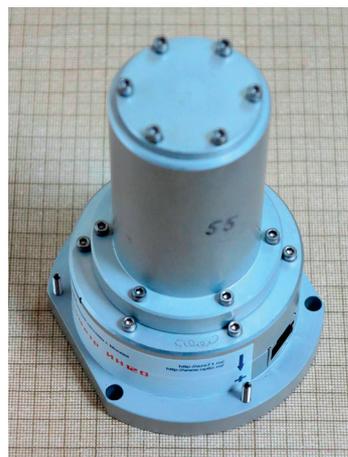


Рис. 3. Угломер ИН 120

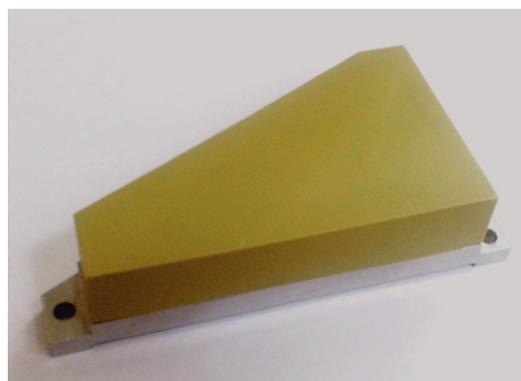


Рис. 4. Акселерометр трехосевой АК 002

**Таблица 1.** Технические характеристики деформометра кварцевого ДК 200

| п.п. | Параметр  | Значение                        |
|------|---|---------------------------------|
| 1    | Диапазон измерения смещения                               | $\pm 200$ мкм                   |
| 2    | Разрешающая способность, не менее                         | 0.1 мкм                         |
| 3    | Габаритные размеры: длина $\times$ ширина $\times$ высота | 292 $\times$ 120 $\times$ 72 мм |

**Таблица 2.** Технические характеристики угломеров ИН120

| п.п. | Параметр                                    | Значение                   |
|------|---|----------------------------|
| 1    | Измерительный диапазон измерения смещения   | $\pm 10800$ угловых секунд |
| 2    | Разрешающая способность                     | 0.1 угловой секунды        |
| 3    | Габаритные размеры: диаметр $\times$ высота | 90 $\times$ 130 мм         |

**Таблица 3.** Технические характеристики контроллера MS4812

| п.п. | Параметр   | Значение           |
|------|--|--------------------|
| 1    | Максимальное время непрерывной работы от аккумулятора 7 А/ч $\cdot$ 12 В | более 365 сут      |
| 2    | Количество опрашиваемых устройств  | до 32 шт           |
| 3    | Габаритные размеры: диаметр $\times$ высота                              | 90 $\times$ 130 мм |

работ по разделению вибраций. Акселерометр трехосевой АК002 соответствует требованиям ГОСТ 53963.1-2010 в части регистрации вибраций строительных сооружений [ГОСТ..., 2010]. Акселерометр имеет коэффициент гармонических искажений менее 1%, линейный рабочий диапазон на опорной частоте 16 Гц не менее 80 Дб, предельное значение уровня нечувствительности по входу — 0.05 мм/с.

#### *Сбор, регистрация и передача данных*

В качестве устройств регистрации, управления и передачи данных используются: адаптеры ОИС024, ОИС024м, ОИС015 и контроллер MS4812.

Контроллер MS4812 предназначен для автономной регистрации углов наклона и деформаций строительных сооружений. Он обеспечивает подачу питания на измерительные устройства, их опрос и сохранение результатов на карту памяти MicroSD емкостью от 4 ГБ и более (рис. 5). Характеристики контроллера представлены в табл. 3.

Устройство сбора данных USD-A8 позволяет собирать данные с 8 тензометрических датчиков, включенных по схеме полумостов. Адаптеры

ОИС024 и ОИС024м позволяют подключать угломер и устройство сбора данных к компьютеру через интерфейс USB.

Адаптер ОИС015 предназначен для гальванической развязки и согласования линии передачи данных интерфейса RS-485, в частности, когда требуется передавать данные на линию длиной более 2000 м. Все устройства системы СМНК-СТРАЖ рассчитаны на круглосуточную эксплуатацию.

Устройство поставляется с необходимым программным обеспечением (драйверами), разработанным для конкретных измерительных задач, и осуществляет измерительные функции, функции индикации и передачи измерительной информации.

#### *Опыт практического применения*

Кварцевые датчики этой наклономерно-деформометрической системы применялись при мониторинге ряда исторических сооружений г. Москвы, в частности, Государственного исторического музея, гостиниц «Москва», «Националь», «Метрополь» во время сооружения ТРК на Манежной площади в 1995–2004 гг. [Багмет и др., 2011]. В 2004–2008 гг. проводился контроль ТРК на Манежной площади и подзем-



Рис. 5. Автономный пункт сбора данных

ного паркинга на площади Революции во время реконструкции гостиницы «Москва» [Пашкин и др., 2008]. Датчики успешно эксплуатировались при мониторинге водоприемника Загорской гидроаккумулирующей электростанции в 1998–2015 гг. [Багмет и др., 2005, Осика и др., 2016], в горнодобывающей промышленности в службе прогноза и предупреждения горных ударов (СПГУ) на рудниках «Карнасурт», «Умбозеро» Ловозерского ГоК и Кировском руднике ОАО «Апатит» Мурманской области [Захаров и др., 1985, 1988, Козырев и др., 2011].

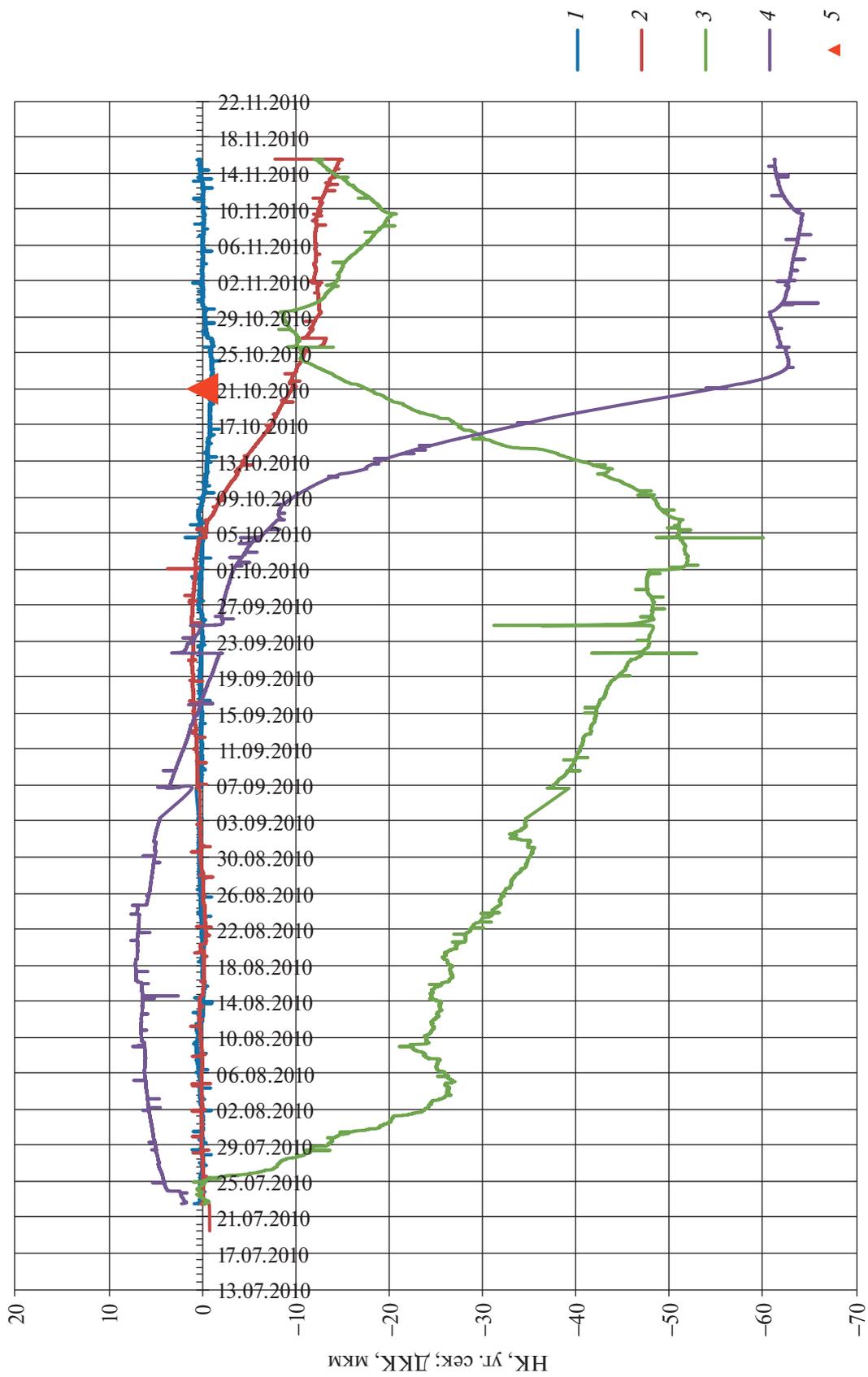
Таким образом, оснащение объектов системами «СМНК-СТРАЖ» позволяет предупредить возникновение и развитие аварийных, чрезвычайных ситуаций; своевременно информировать соответствующие дежурно-диспетчерские, оперативно-диспетчерские, аварийно-спасательные, пожарные, надзорные и другие службы; обеспечить гарантированную устойчивость функционирования объектов мониторинга. В качестве примера можно привести предвестник техногенного землетрясения магнитудой  $M = 3.5$ , который был зафиксирован наклономерно-деформометрическим комплексом, разработанным ИФЗ РАН и смонтированным совместно с горным институтом Кольского научного центра на руднике «Кировский» объеди-

нения «Апатит» в 2010 г. (рис. 6) [Козырев и др., 2011]. Как видно на рис. 6, резкие увеличения в двух азимутах скоростей линейных (скважинные штанговые деформометры ДКК) и угловых (наклонометры НК) деформаций наблюдались в течение недели перед сейсмическим событием.

На рис. 7 показано, что небольшие колебания уровня воды величиной 0.15 м в верхнем бьефе Загорской ГАЭС, вызываемые сейшмами в этом сравнительно небольшом водохранилище объемом около 25 млн кубометров, приводят к угловым деформациям железобетонных конструкций водоприемника до  $1.5 \cdot 10^{-7}$  радиан (0.3 угл. сек).

#### Программно-аппаратурный комплекс для контроля макронеровностей рабочей поверхности дисков подпятников и уклона вала гидроагрегатов ГЭС

В процессе эксплуатации и при проведении ремонтных работ агрегатов гидроэлектростанций возникает необходимость определения с высокой точностью пространственного положения вала гидроагрегата и оценки состояния зеркальной поверхности диска подпятника. В результате измерения радиального и продольного (вдоль окружности) рельефов зеркального диска во время текущих ремонтов можно выявить



**Рис. 6.** Данные мониторинга на геофизическом полигоне на горизонте «-24 м» Юкспорского крыла объединенного Кировского рудника ОАО «Апатит» в июле–ноябре 2010 г. Представлены данные измерений в двух азимутах скважинными штанговыми деформометрами ДКК (1, 2) и наклономерами (3, 4). Красным треугольником (5) отмечен момент землетрясения

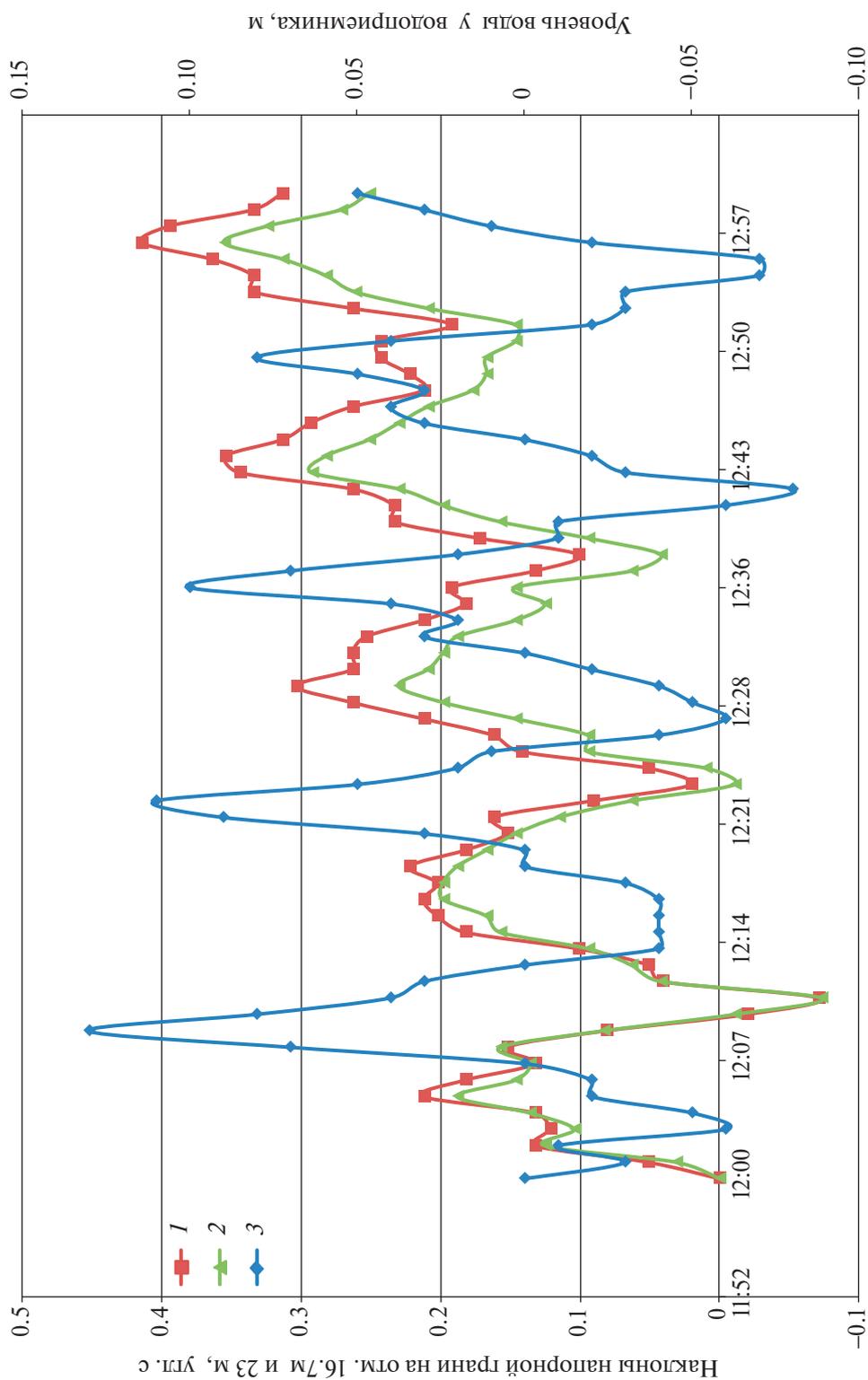


Рис. 7. Собственные колебания уровня воды (сейши) (3) в бассейне верхнего бьефа Загорской ГАЭС (филиал) и вызванные ими наклоны напорной грани водопрямника на отметках 23 м (1) и 16.7 м (2). Все гидроагрегаты отключены. По горизонтальной оси отложено время суток, (ч:мин)

степень износа и шероховатость поверхности опорного диска гидроагрегатов зонтичного типа. Определение пространственного положения вала гидроагрегата позволяет оценить величину и направление наклона вала, сделать выводы о динамике их изменения. Указанные обследования гидроагрегатов позволяют своевременно принять решение о проведении необходимых ремонтных и регулировочных работ.

В течение 2007–2011 гг. в ИФЗ РАН совместно с ООО «Петрол спринг», г. Тула были завершены методические и опытно-конструкторские разработки высокоточных приборов для контроля и выставления с требуемой нормативными документами точностью ответственных геометрических параметров узлов гидроагрегатов — вала и зеркального диска подпятника [Патент..., 2014а,б]. Результаты этих работ докладывались на конференциях РусГидро и опубликованы [Бехтерев и др., 2008].

В течение 2005–2015 гг. на Загорской ГАЭС велась опытная эксплуатация нескольких вариантов приборов. Измерения проводились как на собранных агрегатах во время текущих ремонтов, так и во время капитальных и расширенных ремонтов с разборкой агрегатов.

#### *Основные технические характеристики комплекса*

Входящая в состав комплекса аппаратура позволяет измерять следующие параметры:

- уклоны вала с погрешностью 1 угловая секунда (0.005 мм/м) в диапазоне  $\pm 3$  градуса дуги — датчик уклона УД с магнитным прижимом к поверхности вала;
- макронеровности зеркального диска подпятника (волнистость и радиальная выработка диска) в потолочном и напольном режимах с погрешностью 1 мкм в диапазоне  $\pm 3$  мм — профилемер ПФМ для измерений в напольном и потолочном режиме;
- шероховатости зеркальных поверхностей дисков подпятников гидроагрегатов в диапазоне измерений 0.04–12.5 мкм по параметру Ra и 0.16–50 мкм по параметру Rz — датчик ДШМА-50 (изготовитель СКБ «Микроавтоматика», г. Пенза).

После доработки (оснащения датчика ДШМА-50 магнитным прижимом, чтобы создать стабильное, рекомендуемое изготовителем прижимное усилие на чувствительный элемент датчика) стало возможно проводить измерения

на плоскостях, имеющих любой наклон к горизонту.

Процесс измерения параметров гидроагрегата каждым датчиком, включая экспресс-обработку на компьютере, занимает не более 2–3 ч при участии двух сотрудников. Получаемая информация оперативно передается техническим службам гидроэлектростанции.

#### *Опыт практического применения*

На рис. 8 показан профилемер ПФМ, подготовленный для измерения волнистости и радиальной выработки зеркальной поверхности диска подпятника гидроагрегата во время расширенного ремонта. Результаты измерений волнистости представляются в виде развертки по окружности диска, как показано на рис. 9.

Измерения уклона вала гидроагрегата можно проводить во время любого его останова на непродолжительное время, порядка 1–2 ч, причем как при распушенных турбинном и генераторном подшипниках, так и в маяках (рис. 10). Как показал опыт работ, значения уклонов валов для этих условий могут отличаться не более, чем на величину 0.1 мм/м. Результаты измерений уклонов валов гидроагрегатов обычно представляются в виде векторных диаграмм, показывающих амплитуду и азимут наклона оси вала (рис. 11).

В результате работы к настоящему времени:

- предложен компактный, легкий и простой в эксплуатации комплекс отечественной аппаратуры, обеспечивающий требуемую точность измерений;
- разработан комплекс программных средств, позволяющий оперативно обрабатывать собранную информацию и отображать в виде наглядных диаграмм результаты измерений;
- изготовлена автоматизированная система регистрации информации, поступающей с датчиков;
- изготовлены рабочие чертежи приборов для передачи в мелкосерийное производство.

Последняя версия профилемера ПФМ-У не требует для проведения измерений установки гидроагрегата на домкраты и выемки опорных сегментов, что позволяет измерять геометрические характеристики зеркального диска подпятника и в нагруженном состоянии, а также существенно сократить время измерения и трудоемкость подготовки рабочего пространства для проведения измерений на зеркальном диске при текущем ремонте. Усовершенствованный вариант измери-



Рис. 8. Измерение волнистости и выработки диска подпятника Загорской ГАЭС при расширенном ремонте

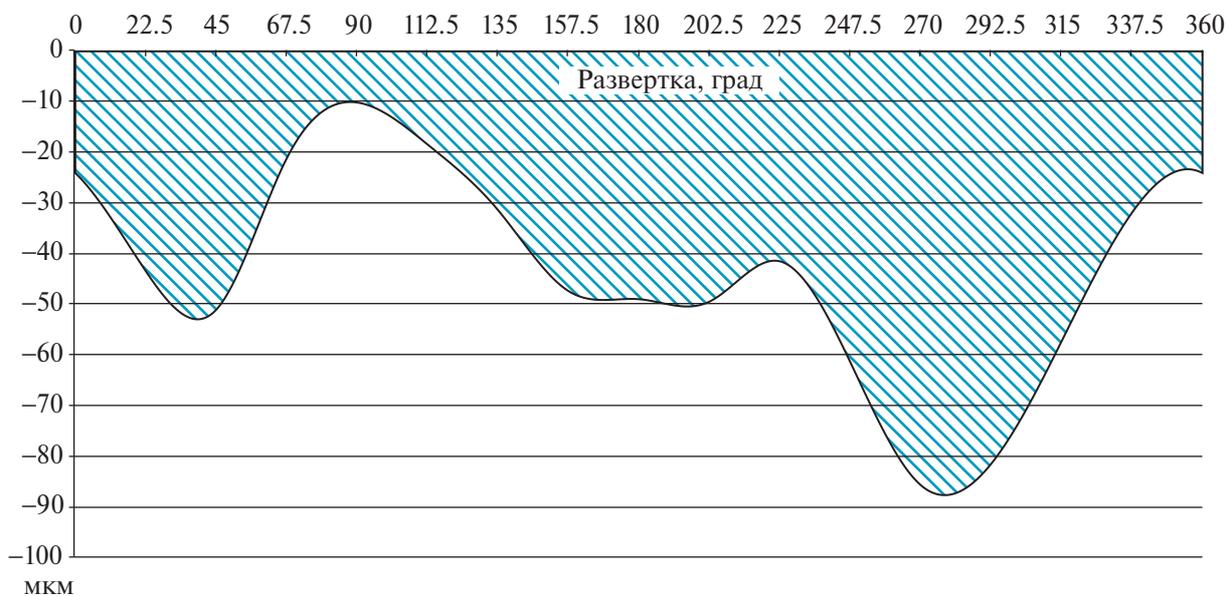


Рис. 9. Волнистость зеркальной поверхности диска подпятника гидроагрегата А1, определенная в ходе испытаний 18 октября 2012 г. (агрегат в маяках)

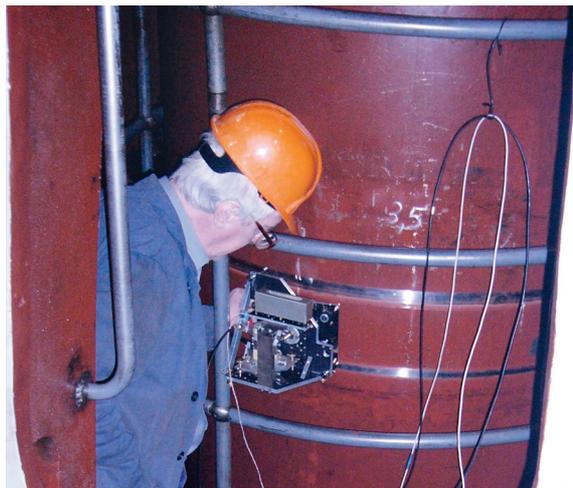


Рис. 10. Измерение уклона вала гидроагрегата на Загорской ГАЭС

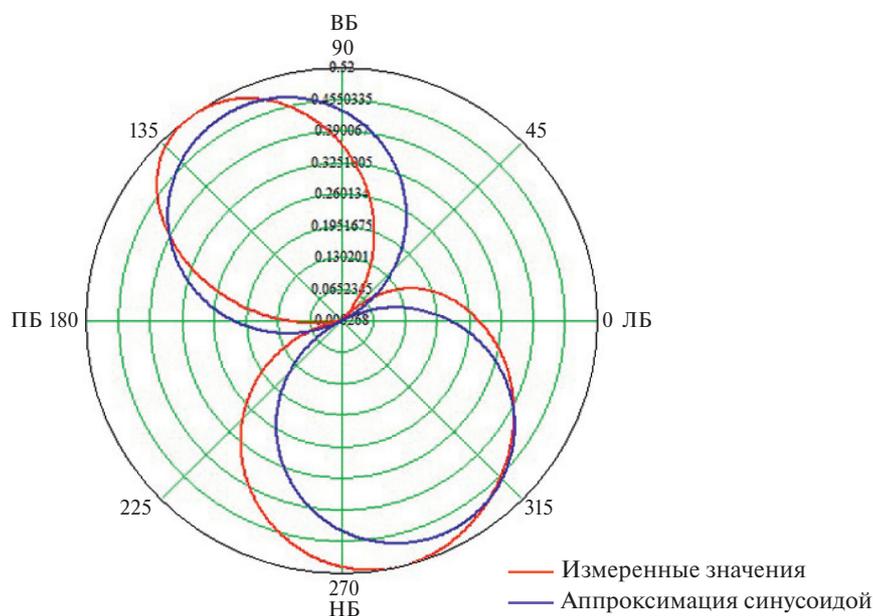


Рис. 11. Пример результатов обработки измерений уклона вала гидроагрегата на Загорской ГАЭС. Уклон вала 0.485 мм/м, направление уклона 27°

теля уклонов УД снабжен самоцентрирующимся магнитным прижимом к валу, что автоматически обеспечивает надежный контакт трех опорных ножек прибора с поверхностью вала. Обе приборные разработки запатентованы.

ИФЗ РАН подготовил сотрудников ООО «Петрол спринг» (соавтор разработок и изготовитель приборов) для проведения вышеуказанных работ на объектах гидроэнергетики и оказывает им содействие в выполнении работ.

### Заключение

В Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук разработана техноло-

гия изготовления стабильных малогабаритных наклономеров и короткобазисных деформометров из кварцевого стекла. По этой технологии разработаны и изготовлены датчики различных параметров, имеющие в настоящее время широкое применение в гидроэнергетике, горной промышленности и гражданском строительстве. Приборы защищены авторскими свидетельствами и патентами. На их основе созданы многофункциональные программно-измерительные комплексы — система мониторинга несущих конструкции строительных сооружений «СМНК-СТРАЖ» и комплекс для контроля макронеровностей рабочей поверхности дисков подпятников и уклона вала гидроагрегатов ГЭС.

Накоплен богатый и успешный опыт практического применения выполненных разработок. В частности, они применялись для мониторинга ряда важных исторических сооружений и крупных культурных объектов в центре Москвы во время сооружения торгово-развлекательного комплекса на Манежной площади и реконструкции гостиницы «Москва», для контроля водоприемника Загорской гидроаккумулирующей электростанции, а также в горнодобывающей промышленности в службе прогноза и предупреждения горных ударов (СПГУ) на рудниках «Карнасурт», «Умбозеро» Ловозерского ГОК и Кировском руднике ОАО «Апатит» Мурманской области.

В настоящее время ИФЗ РАН, ООО «Петрол спринг» и ООО «Оптические измерительные системы» совместно проводят работы на объектах гидроэнергетического комплекса страны, гражданского строительства и горно-добывающих предприятиях.

### Литература

- А.с. 5023416/25 СССР. Способ регистрации линейных деформаций массива скальных пород. / Ловчиков А.В., Осика В.И. Опубликовано 28.02.1994.
- Багмет А.Л., Блинов И.Ф., Осика В.И., Черненко В.Н. Результаты измерений наклонов стен устоев водоприемника Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. 2005. № 12. С. 22–24.
- Багмет А.Л., Осика В.И., Костин А.Б., Титчев Н.И., Трудненко А.И. Деформационный мониторинг здания гостиницы «Националь» // Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 4. С. 55–63.
- Багмет А.Л., Осика В.И., Костин А.Б. Влияние внешних периодических воздействий на строительные сооружения // Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012». Т. 1. Москва, 2012. С. 267–273.
- Бехтерев С.В., Осика В.И., Пчелинцев В.А. Измерительные устройства для инструментального обследования подпятников и валов гидроагрегатов // Гидротехническое строительство. 2008. № 6. С. 12–18.
- Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н., Осика В.И., Передерин В.П., Розенберг Н.К. Деформационный мониторинг как индикатор техногенного влияния на геолого-экологическую среду // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. № 2. С. 15–24.
- ГОСТ 53963.1-2010 «Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Требования к средствам измерений».
- Захаров В.В., Калашник А.И., Ловчиков А.В., Осика В.И., Попов Е.И. Система деформационных наблюдений на руднике «Карнасурт» // Техника натурального эксперимента. Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1985. С. 45–51.
- Захаров В.В., Осика В.И., Баглаев В.И. Специализированный геомеханический подземный полигон в контрольно-наблюдательном квершлага рудника «Умбозеро», его оборудование и функциональные возможности // Геомеханическое обеспечение разработки месторождений Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1988. С. 80–85.
- Козырев А.А., Каган М.М., Константинов К.Н., Жиров Д.В. Деформационные предвестники техногенного землетрясения на объединенном Кировском руднике ОАО «Апатит» // Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию акад. М.В. Курлени. Т. II. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. С. 228–234.
- Коридалин В.Е., Осика В.И. Сейсмоприемники с чувствительным элементом из кварцевого стекла // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 2. С. 14–31.
- Осика В.И., Строганов С.А. О вычислении жесткости различных конструкций водоприемника Загорской ГАЭС // Гидротехническое строительство. 2016. № 2. С. 25–27.
- Пат. 2569945 Российская Федерация. Устройство для измерения угла наклона валов гидроагрегатов / В.И. Осика, В.А. Пчелинцев 02.09.2014.
- Пат. 2576631 Российская Федерация. Устройство для измерения макронеровностей поверхностей / В.И. Осика, В.А. Пчелинцев 17.12.2014
- Пашкин Е.М., Багмет А.Л., Осика В.И., Новак Ю.В., Сухов А.А. Мониторинг деформаций как основа безопасной эксплуатации зданий и сооружений // Инженерная геология. 2008. № 3. С. 40–50.
- Постановление Правительства Москвы от 6 мая 2008 г. N 375-ПП «О мерах по обеспечению инженерной безопасности зданий и сооружений и предупреждению чрезвычайных ситуаций на территории города Москвы».

#### Сведения об авторах

**ОСИКА Виктор Иванович** — кандидат физико-математических 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) 254-23-16. E-mail: osika@ifz.ru

**КОЧЕТКОВ Борис Михайлович** — директор, ООО «Петрол спринг». 300004, Россия, г. Тула, Торховский проезд, д. 6а, тел.: +7 (4872) 41-9000. E-mail: info@azs71.ru

**ПАВЛОВ Евгений Иридиевич** — кандидат технических наук, коммерческий директор ООО «Оптические измерительные системы» 119992, г. Москва, Научный парк МГУ, Ленинские горы ул., владение 1, стр. 77, тел. +7 (495) 930-80-53. E-mail: eu.pavlov@mail.ru

**КАЧАН Ирина Петровна** — инженер-исследователь, ООО «Оптические измерительные системы» 119992, г. Москва, Научный парк МГУ, Ленинские горы ул., владение 1, стр. 77, тел. +7 (495) 930-80-53. E-mail: i.p.kachan@gmail.com

**ПЧЕЛИНЦЕВ Виктор Алексеевич** — старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-23-6, E-mail: bee@ifz.ru

#### Information about authors

**OSIKA Victor Ivanovich** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Tel. : + 7 (499) 254-23-16. E-mail: osika@ifz.ru

**KOCHETKOV Boris Mikhailovich** — Director, ООО Petrol Spring. 300004, Russia, Tula, Torkhovskiy proezd, 6a, Tel. : +7 (4872) 41-9000. E-mail: info@azs71.ru

**PAVLOV Evgeniy Iridievich** — Candidate of Technical Sciences, Commercial Director, Optical Measurement Systems LLC 119992, Moscow, MSU Science Park, Leninskiye Gory Str., Possession 1, building 77, Tel.: +7 (495) 930-80-53. E-mail: eu.pavlov@mail.ru

**KACHAN Irina Petrovna** — Research Engineer, Optical Measurement Systems LLC 119992, Moscow, MSU Science Park, Leninskiye Gory Str., Ow. 1, build. 77, Tel.: +7 (495) 930-80-53. E-mail: i.p.kachan@gmail.com

**PCHELINTSEV Viktor Alekseevich** — Senior Research Fellow, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Tel.: +7 (499) 254-23-16, E-mail: bee@ifz.ru

## APPLICATION OF GEOPHYSICAL SENSORS OF QUARTZ GLASS IN CONTROL SYSTEMS OF BUILDING STRUCTURES AND LARGE MECHANISMS

V.I. Osika<sup>1</sup>, B.M. Kochetkov<sup>2</sup>, E.I. Pavlov<sup>3</sup>, I.P. Kachan<sup>3</sup>, V.A. Pchelintsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*LLC “Petrol Spring”, Tula, Russia*

<sup>3</sup>*LLC “Optical measuring systems”, Moscow, Russia*

**Abstract.** A technology for manufacturing stable small-sized tiltmeters and short-base deformometers made of quartz glass was developed in Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS). Based on the technology sensors of various parameters have been designed and are currently used in hydropower, mining and civil engineering. The article presents several instruments with quartz glass sensors. The characteristics of these instruments are described and the multifunctional measuring complexes created on their basis are developed. They are the monitoring system for the bearing structures of the building structures “SMNK-STRAGE” and the complex for monitoring the macroroughness of the working surface of the thrust discs and the slope of the shaft of the hydroelectric power stations of the hydroelectric power station. It is shown that the application of the developed technology provides high accuracy and long-term stability of the parameters of tiltmeters and strain gauges used to monitor various building structures and geometric control of precise setting of large mechanisms.

**Keywords:** tiltmeter, inclinometer deformometer, accelerometer, slitmeter, tilt angle measuring system, composite sensor, quartz systems, monitoring of engineering structures, geotechnical monitoring.

### References (Translations)

- Copyright certificate 5023416/25 USSR. The method of recording linear deformations of a rock massif, Lovchikov A.V., Osika V.I. Published on 28.02.1994.
- Bagmet A.L., Blinov I.F., Osika V.I., Chernenko V.N.* Results of measuring the slopes of the walls of the foundations of the Zagorskaya hydroelectric power station, Hydrotechnical Construction. 2005. № 12. pp. 22–24 [in Russian].
- Bagmet A.L., Osika V.I., Kostin A.B., Titchev N.I., Trudnenko A.I.* Deformation monitoring of the building of the National Hotel, Seismic Instruments. 2011. Vol. 47, No. 4. pp. 55–63 [in Russian].
- Bagmet A.L., Osika V.I., Kostin A.B.* Influence of external periodic effects on building structures, Materials of the International Scientific and Practical Conference “GEORISK-2012”. Vol. 1. Moscow, 2012. pp. 267–273 [in Russian].
- Bekhterev S.V., Osika V.I., Pchelintsev V.A.* Measuring devices for instrumental examination of thrust bearings and shafts of hydroelectric units, Hydrotechnical Construction. 2008. No. 6. pp. 12–18 [in Russian].
- Galaganov O.N., Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mokrova A.N., Osika V.I., Perederin V.P., Rosenberg N.K.* Deformational monitoring as an indicator of anthropogenic impact on the geological and ecological environment, Monitoring. Science and Technology. 2015. No. 2. pp. 15–24 [in Russian].
- GOST 53963.1-2010 “Vibration. Measurements of Vibration of Structures. Requirements for Measuring Instruments.”
- Zakharov V.V., Kalashnik A.I., Lovchikov A.V., Osika V.I., Popov E.I.* System of deformation observations at the mine “Carnasurt”, Technique of full-scale experiment. Novosibirsk, Institute of Mining, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1985. pp. 45–51 [in Russian].
- Zakharov V.V., Osika V.I., Baglaev V.I.* Specialized geomechanical underground testing range in the control and observational crosscut of the Umbozero mine, its equipment and functional capabilities, Geomechanical support of the development of the Kola Peninsula deposits. Apatity, Publishing house of the Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1988. pp. 80–85 [in Russian].
- Kozyrev A.A., Kagan M.M., Konstantinov K.N., Zhironov D.V.* Deformational harbingers of anthropogenic earthquake at the joint Kirov mine of OJSC “Apatite”, Proceedings of the All-Russian Conference “Geodynamics and the stressed state of the Earth’s interior”, dedicated to the 80th anniversary of Academician M.V. Kurleni. Vol. II. Novosibirsk, Institute of Mining, SB RAS, 2011. pp. 228–234 [in Russian].
- Koridalin V.E., Osika V.I.* Seismic receivers with a sensitive element made of quartz glass, Seismic Instruments. 2008. Vol. 44, No. 2. pp. 14–31 [in Russian].
- Osika V.I., Stroganov S.A.* On the calculation of the rigidity of various designs of the water intake of the Zagorskaya PSHPP, Hydrotechnical Construction. 2016. No. 2. pp. 25–27 [in Russian].
- Patent 2569945 Russian Federation. The device for measuring the angle of inclination of the shafts of hydraulic units / V.I. Osika, V.A. Pchelintsev 9.02.2014.
- Patent 2576631 Russian Federation. A device for measuring the macro-irregularities of surfaces. V.I. Osika, V.A. Pchelintsev 17.12.2014.
- Pashkin E.M., Bagmet A.L., Osika V.I., Novak Yu.V., Sukhov A.A.* Monitoring of deformations as a

basis for safe operation of buildings and structures, *Engineering Geology*. 2008. No. 3. pp. 40–50 [in Russian].

Decree of the Government of Moscow of May 6, 2008 N 375-PP “On measures to ensure the engineering safety of buildings and structures and prevent emergencies in the territory of the city of Moscow.”

### References (Transliterations)

- Avtorskoye svidetel'stvo 5023416/25 SSSR. Sposob registratsii lineynykh deformatsiy massiva skal'nykh porod, Lovchikov A.V., Osika V.I. Opublikovano 28.02.1994.
- Bagmet A.L., Blinov I.F., Osika V.I., Chernenko V.N.* Rezul'taty izmereniy naklonov sten ustoyev vodopriyomnika Zagorskoy GAES, *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2005. No. 12. Stranitsy 22–24. [in Russian].
- Bagmet A.L., Osika V.I., Kostin A.B., Titchev N.I., Trudnenko A.I.* Deformatsionnyy monitoring zdaniya gostinitsy “Natsional”, *Seysmicheskiye pribory*. 2011. T. 47, No. 4. Stranitsy 55–63. [in Russian].
- Bagmet A.L., Osika V.I., Kostin A.B.* Vliyaniye vneshnikh periodicheskikh vozdeystviy na stroitel'nyye sooruzheniya, *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «GEORISK-2012»*. T. 1. Moskva, 2012. Stranitsy 267–273. [in Russian].
- Bekhterev S.V., Osika V.I., Pchelintsev V.A.* Izmeritel'nyye ustroystva dlya instrumental'nogo ob sledovaniya podpyatnikov i valov gidroagregatov, *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2008. No. 6. Stranitsy 12–18. [in Russian].
- Galaganov O.N., Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mokrova A.N., Osika V.I., Perederin V.P., Rozenberg N.K.* Deformatsionnyy monitoring kak indikator tekhnogennoy vliyaniya na geologo-ekologicheskuyu sredyu, *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2015. No. 2. Stranitsy 15–24. [in Russian].
- GOST 53963.1-2010 «Vibratsiya. Izmereniya vibratsii sooruzheniy. Trebovaniya k sredstvam izmereniy».
- Zakharov V.V., Kalashnik A.I., Lovchikov A.V., Osika V.I., Popov Ye.I.* Sistema deformatsionnykh nablyudeniy na rudnike «Karnasurt», *Tekhnika naturного eksperimenta*. Novosibirsk, Institut gornogo dela SO AN SSSR, 1985. Stranitsy 45–51. [in Russian].
- Zakharov V.V., Osika V.I., Baglayev V.I.* Spetsializirovannyy geomekhanicheskiy podzemnyy poligon v kontrol'no-nablyudatel'nom kvershlaghe rudnika «Umbozero», yego oborudovaniye i funktsional'nyye vozmozhnosti, *Geomekhanicheskoye obespecheniye razrabotki mestorozhdeniy Kol'skogo poluoostrova*. Apatity, Izdatel'stvo Kol'skogo filiala AN SSSR, 1988. Stranitsy 80–85. [in Russian].
- Kozyrev A.A., Kagan M.M., Konstantinov K.N., Zhirov D.V.* Deformatsionnyye predvestniki tekhnogennoy zemletryaseniya na ob'yedinennom Kirovskom rudnike OAO «Apatit», *Trudy Vserossiyskoy konferentsii «Geodinamika i napryazhennoye sostoyaniye nedr Zemli»*, posvyashchennoy 80-letiyu akademika M.V. Kurleni. Tom II. Novosibirsk, Institut gornogo dela SO RAN, 2011. Stranitsy 228–234. [in Russian].
- Koridalin V.Ye., Osika V.I.* Seysmopriyemniki s chuvstvitel'nyy elementom iz kvartsevogo stekla, *Seysmicheskiye pribory*. 2008. T. 44, No. 2. Stranitsy 14–31. [in Russian].
- Osika V.I., Stroganov S.A.* O vychislenii zhestkosti razlichnykh konstruktсий vodopriyemnika Zagorskoy GAES, *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2016. No. 2. Stranitsy 25–27. [in Russian].
- Patent 2569945 Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo dlya izmereniya ugla naklona valov gidroagregatov / V.I. Osika, V.A. Pchelintsev 02.09.2014.
- Patent 2576631 Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo dlya izmereniya makronerovnostey poverkhnostey / V.I. Osika, V.A. Pchelintsev 17.12.2014.
- Pashkin Ye.M., Bagmet A.L., Osika V.I., Novak Yu.V., Sukhov A.A.* Monitoring deformatsiy kak osnova bezopasnoy ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy, *Inzhenernaya geologiya*. 2008. No. 3. Stranitsy 40–50. [in Russian].
- Postanovleniye Pravitel'stva Moskvy ot 6 maya 2008 g. N 375-PP “O merakh po obespecheniyu inzhenernoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy i preduprezhdeniyu chrezvychaynykh situatsiy na territorii goroda Moskvy”.