

УДК 528.02

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Уставич Георгий Афанасьевич¹,
ystavich@mail.ru

Аврунев Евгений Ильич¹,
avrynev_ei@ngs.ru

Сальников Валерий Геннадьевич¹,
salnikov@snga.ru

Попов Виктор Константинович²,
pvk@tpu.ru

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность исследования. В настоящее время достаточно хорошо разработанный и применяющийся состав инженерно-геодезических работ в условиях наличия грунтов с сезонным промерзанием требует проведения дальнейших исследований применительно к вечномерзлым грунтам в части разработки методики создания геодезического обоснования и обеспечения стабильности пунктов этого обоснования на разных этапах его создания. Особое внимание эти вопросы заслуживают при строительстве и эксплуатации энергетических объектов, расположенных на вечномерзлых грунтах.

Цель исследования: разработать и внедрить технологическую схему создания стабильного планово-высотного обоснования в условиях наличия вечномерзлых грунтов на Няганской и Серовской ГРЭС (г. Нягань, Ханты-Мансийский автономный округ).

Объекты: грунтовые репера, пункты строительной сетки, опорные геодезические пункты, универсальные геодезические пункты, многолетнемерзлые грунты.

Методы: метод «свободной станции», обратная линейно-угловая засечка, спутниковые измерения, определение пространственного положения каркаса гравирни, геометрическое нивелирование короткими лучами, наблюдение за осадками и деформациями зданий, сооружений и основного оборудования.

Результаты. Предложена технологическая схема геодезического мониторинга в условиях наличия вечномерзлых грунтов. Представлена схема опорного геодезического пункта, способного сохранять стабильное пространственное положение в период строительно-монтажных работ, а также в период эксплуатации энергетического объекта. Разработана методика деформационного мониторинга гравирен различной формы каркаса. Разработанная методика позволяет определить пространственное положение каркаса гравирни при различных режимах работы основного оборудования от 0 до 100 % мощности, со среднеквадратической ошибкой не более 2,0 мм.

Ключевые слова:

Планово-высотное обоснование, турбина, башенная гравирня, геометрическое нивелирование, тахеометр, деформационный мониторинг.

Тепловые электрические станции (ТЭС) являются сложным инженерным энергетическим комплексом, состоящим из зданий, сооружений, энергетического и иного оборудования.

Основными инженерными сооружениями и оборудованием ТЭС [1, 2], при строительстве и эксплуатации которых необходимо выполнение высокоточных инженерно-геодезических работ, являются: главный корпус, гравирни, дымовые трубы, котельная и паротурбинная установки.

Непосредственно после выбора места расположения промплощадки состав основных инженерно-геодезических работ включает в себя:

- создание на территории промплощадки планово-высотного геодезического обоснования соответствующей точности;
- сгущение геодезического обоснования для обеспечения строительства конкретного инженерного сооружения;

- передачу геодезического обоснования внутрь инженерного сооружения и его последующее сгущение для обеспечения монтажа и дальнейшей эксплуатации оборудования каждого инженерного сооружения;
- поддержание на необходимом техническом уровне геодезического обоснования и при необходимости его периодическое восстановление в течение всего периода строительства инженерного сооружения;
- производство высокоточных инженерно-геодезических работ при эксплуатации инженерного сооружения и применяемого оборудования.

Указанный состав инженерно-геодезических работ достаточно хорошо разработан и применяется в настоящее время на промплощадках в условиях наличия грунтов с сезонным их промерзанием. Применительно же к вечномерзлым грунтам его использование требует проведения дальней-

ших исследований в части разработки методики создания геодезического обоснования и обеспечения стабильности пунктов этого обоснования на разных этапах его создания. К таким условиям, в нашем случае, относится промплощадка Няганской ГРЭС (НГРЭС).

Площадка под строительство Няганской ГРЭС площадью 302,2 га (территория строительной площадки занимает 196000 кв. м) находится в 6 км от г. Нягань. По данным инженерно-геологических изысканий площадка до глубины от 5,00 до 10,00 м в основном сложена глинистыми грунтами, предрасположенными к морозному пучению и относящимися к средне- и сильнопучинистым. В северо-западной части площадки отмечается наличие многолетнемерзлых грунтов. Мерзлотные процессы прослеживаются в виде небольших по площади бугров пучения. Высота бугров от дневной поверхности составляет от 0,50 до 1,20 м. Многолетнемерзлые грунты прослеживаются на глубину от 1,40 до 5,10 м от дневной поверхности. Представлены они твердомёрзлым слабо- и среднеразложившимся торфом. В двух скважинах было обнаружено наличие пластичномёрзлого суглинка. Нормативная глубина промерзания для района строительства составляет: для глин и суглинков 2,40 м; для супесей и песков 2,90 м; для торфа 0,80 м.

С учетом рассмотренных условий встает задача разработки схемы создания внешней планово-высотной основы (ПВО), разбивочной сети сгущения и сети для проведения монтажа оборудования и дальнейшей его эксплуатации. При этом необходимо учитывать величину промерзания грунта, его морозное пучение и возможность появления грунтовых вод под главным корпусом ТЭС.

В начале строительства на территории Няганской ГРЭС применяется классический подход для создания планово-высотной основы в виде строительной сетки и грунтовых реперов [3, 4].

В табл. 1 указаны этапы создания геодезической основы классическим методом.

На первом этапе происходит передача координат от пунктов государственной геодезической сети (ГГС) на несколько пунктов строительной сетки [4–6].

Так как ошибка взаимного положения пунктов ГГС больше, чем величина допустимой ошибки взаимного положения пунктов сетки, то на промплощадке принимается условная система координат – строительная система координат (ССК). Направление осей координат выбирается параллельно главным осям инженерных сооружений [6, 7].

Для контроля выноса координат часто измерения повторяются при помощи глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Расхождение координат между двумя способами передачи плановой основы не превышает от 3 до 5 мм [8, 9].

Затем производится перенос высотной основы на грунтовые репера. Для этого от пунктов ГГС прокладываются нивелирные хода II класса.

В процессе нивелирования необходимо охватить все репера замкнутыми ходами, опирающимися как минимум на три пункта ГГС.

Таблица 1. Классическая схема создания геодезического обоснования

Table 1. Classical scheme of developing geodetic control

№	Этапы создания геодезической основы Stages of development of geodetic base	Методы, используемые при создании геодезической основы Methods used for developing the geodetic base
1	Создание проекта развития планово-высотной основы Development of the project of vertical and horizontal base	Изыскательские работы, рекогносцировка и закладка геодезических пунктов Exploration, reconnaissance survey and establishment of geodetic points
2	Передача координат в район строительства от пунктов государственной геодезической сети или местной системы координат Coordinate data transmission from State Geodetic Network or local coordinate system	Хода полигонометрии, засечки (прямая угловая, обратная угловая и пр.), спутниковые методы Traverses, sights (direct angular, back angular etc.), satellite techniques
3	Развитие геодезической основы в виде строительной сетки Development of geodetic base in the form of construction netting	Хода полигонометрии Traverses
4	Сгущение геодезической основы – создание внешней разбивочной сети Thickening geodetic base – development of external demarcation	Способ полярных координат Polar coordinate method
5	Создание внутренней разбивочной сети Development of inner mark out network	Способ полярных координат, метод вертикального проектирования Coordinate method, vertical design method

Для сгущения планово-высотной сети используются пункты строительной сетки (ПСС) [4]. Строительная сетка имеет размеры 200×200 м (рис. 1). Вынос ПСС в натуру выполняется при помощи спутниковых измерений [10]. Сами пункты изготавливаются из нержавеющей металла размером 15×15 см. Заложение ПСС производится в вершины квадратов строительной сетки. После установки ПСС через два месяца на них передается планово-высотная основа, выполняются линейно-угловые измерения и производится их редуцирование. На каждой пластине высверливается центр, которому присваиваются пространственные координаты [3].

Для главного корпуса ГРЭС дополнительно создается внешняя разбивочная основа [3, 7] (4 этап, табл. 1). Вокруг каждого из главных корпусов закладываются по четыре–шесть пунктов ПСС (Г-1,...Г-12, рис. 1). После этого планово-высотная основа переносится на эти пункты с ошибкой взаимного положения ±5 мм. Для обеспечения этой

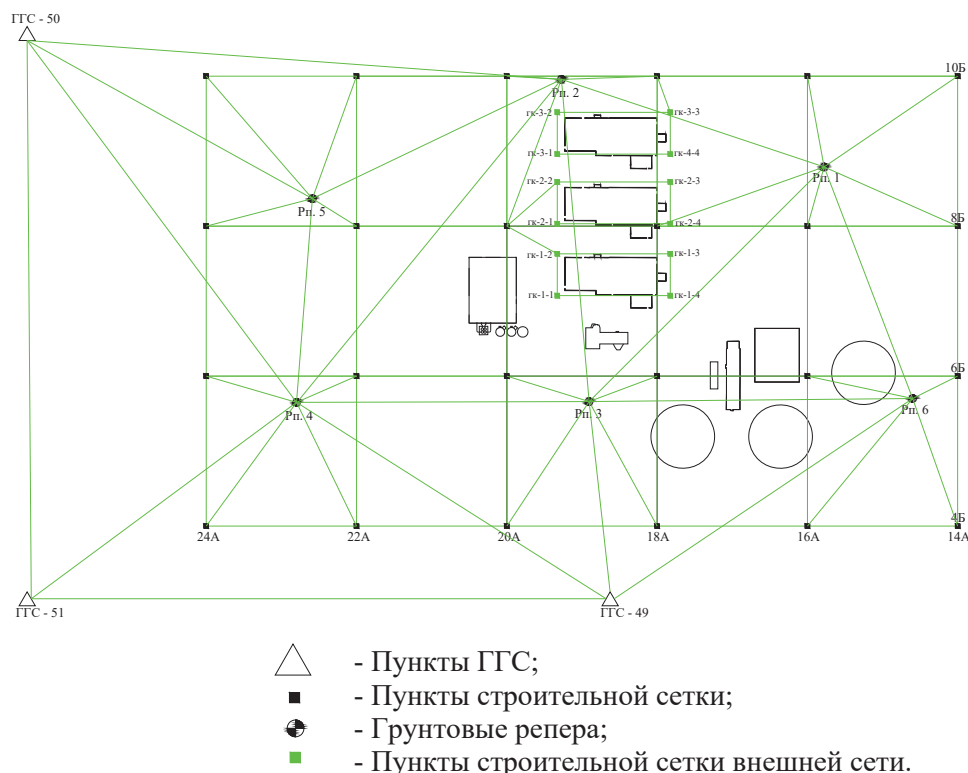


Рис. 1. Схема создания геодезической основы по классической схеме

Fig. 1. Diagram of development of geodetic base on the classical pattern

точности координаты передаются от пунктов строительной сетки на один пункт внешней сети сооружения, а затем по всем четырем-шести пунктам прокладывается замкнутый тахеометрический ход. После чего уравненные координаты присваиваются данным пунктам [3].

Достоинством классической схемы является простота и сравнительно невысокая цена установки ПСС и грунтовых реперов.

Недостатками классической схемы являются:

- выбранная конструкция грунтовых реперов не удовлетворяет условиям наличия на строительной площадке вечномёрзлых грунтов, так как она лишена опорной части внизу и боковых сил сцепления с грунтом по бокам. Из-за отсутствия скальных пород на глубине заложения реперов в каждом случае якорь реперной трубы помещается в грунт с неизвестными свойствами (в основном в песок). Поскольку в данной конструкции труба опирается всем весом только на якорь, устойчивость репера полностью зависит от несущей способности грунта в каждом конкретном случае. В весенне-осенний период происходит затопление грунтовых реперов тальми водами (рис. 2).
- использование ПСС в качестве пунктов планово-высотной основы также не удовлетворяет геологическим условиям строительной площадки, так как в межсезонный период ПСС заметно изменяют свое плановое и высотное положение; перемещение отдельных пунктов дости-

гает 42 мм. Это обусловлено таянием или морозным пучением грунта, близкой работой строительной техники, а зачастую и наездами этих механизмов на пункты (рис. 3);

- каждый пункт ППС имеет только одну верхнюю точку с известными координатами.

С учетом указанных недостатков классической схемы нами разработана и внедрена схема, основанная на многоцелевом использовании конструкций пунктов сети (табл. 2). Эта схема учитывает состояние грунтов и особенно тот факт, что они в основном вечномёрзлые [11, 12].

На первом этапе учитываются данные, полученные при проведении комплекса изыскательных работ. После анализа и принятия решение о создании технико-экономического обоснования строительства приступают к рекогносцировке планово-высотной геодезической основы [13, 14].

На втором этапе производится создание геодезического обоснования на промплощадке. Для обеспечения надежной и долговечной планово-высотной основы площадки строительства ГРЭС предлагается использовать разработанные нами опорные геодезические пункты (ОГП) [3].

Рассмотрим схему конструкции ОГП, которая представлена на рис. 4. Она представляет собой стандартную железобетонную сваю длиной 12 м. Высота такой сваи после установки должна быть выше вертикальной планировки благоустройства территории примерно от 1,0 до 1,3 м.



Рис. 2. Общий вид грунтового репера № 3

Fig. 2. General view of ground benchmark no. 3



выдается и заливается бетоном толщиной 50 мм. Затем на бетон устанавливается обсадная труба диаметром 0,5 м и длиной от 1,5 м до 2 м таким образом, чтобы свая была примерно в центре данной конструкции. После этого сооружается опалубка и вовнутрь ее заливается бетон, тем самым возводится отмостка, а затем и изоляция.

Таблица 2. Предлагаемая схема создания геодезической разбивочной основы

Table 2. Proposed scheme of developing geodetic control network

Этапы создания геодезической основы Stages of development of geodetic base	Методы, используемые при создании геодезической основы Methods used for developing the geodetic base
Создание проекта развития планово-высотной основы Development of the project of vertical and horizontal base	Изыскательские работы, рекогносцировка и закладка геодезических пунктов Exploration, reconnaissance survey and establishment of geodetic points
Передача координат на промплощадку от пунктов государственной геодезической сети или местной системы координат на опорные или универсальные геодезические пункты Coordinate data transmission to the industrial site from State Geodetic Network or local coordinate system to fundamental or universal geodetic points	Хода полигонометрии, засечки (прямая угловая, обратная угловая и пр.), спутниковые методы Traverses, sights (direct angular, back angular etc.), satellite techniques

После достижения нужной глубины с помощью распорок и домкратных рам данная конструкция фиксируется неподвижно.

Затем под установку обсадной трубы вокруг сваи диаметром 0,6 м разрабатывается скважина глубиной от 1,5 м до 2 м. Дно скважины утрамбо-



Рис. 3. Внешний вид ПСС после наезда гусеничной техники

Fig. 3. Layout of construction netting points after track machine runover

Сверху сваи устанавливается столик размером 200×200 мм со станovým винтом. С целью расширения возможностей пункта на каждой стороне сваи устанавливаются металлические пластины, и к ним приклеиваются отражающие пленки (ОП-90). Для обеспечения возможности восстановления поврежденных отражающих пленок на металлической пластине штихелем наносится перекре-

стие и затем, при необходимости, приклеивается новая отражающая пластина, после совмещения ее краев с начерченными линиями. Непосредственно у земли сооружается реперная головка, на которую будет передаваться отметка от репера.

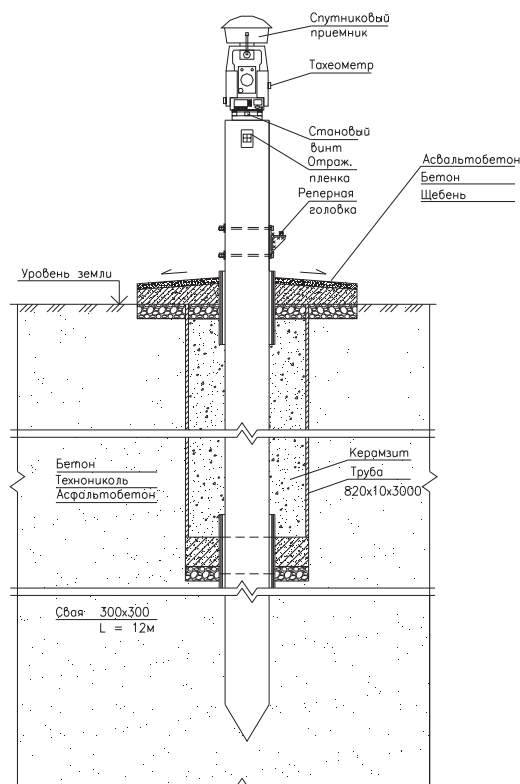


Рис. 4. Схема опорного геодезического пункта

Fig. 4. Fundamental geodetic point (FGP) design

После установки ОГП на отражающие пленки, становой винт и реперную головку передаются координаты. Для этого от пунктов государственной геодезической сети (ГГС) прокладываются ходы до каждого ОГП с точностью не хуже полигонометрии 1-го разряда. Вследствие этого на промплощадке образуется сеть из замкнутых треугольников (рис. 5).

Как и в первой схеме на промплощадке принимается условная система координат. Направление осей координат также выбирается параллельно главным осям инженерных сооружений [3].

Для контроля выноса координат измерения повторяются при помощи ГНСС. Если расхождение координат между двумя способами создания плановой основы не превышает 3–5 мм, производится перенос высотной основы на ОГП. Для этого от пунктов ГГС на реперную головку и столик прокладываются нивелирные ходы II класса, а на перекрестке каждой отражающей пленки отбрасывается с точностью нивелирования IV класса. В процессе выполнения нивелирования в ходы необходимо включать все пункты сети.

Таким образом, предлагаемая конструкция опорного геодезического пункта позволяет произ-

водить сгущение и разбивочные работы спутниковыми, линейно-угловыми и высотными измерениями [3, 10, 12].

Его конструкция обеспечивает применение:

- тахеометра с принудительным центрированием;
- спутниковых измерений;
- тахеометра и спутникового приемника (например, Leica TPS 1200+);
- предлагаемого пункта для решения обратной линейно-угловой засечки методом «свободной станции»;
- высотного репера для наблюдения за осадками и деформациями сооружений ГРЭС;
- контроля устойчивости пунктов сети, перед началом выполнения разбивочных работ.

Если для создания обоснования или выполнения разбивочных работ используется только тахеометр, то после его принудительного центрирования на пункте измерения могут выполняться способом полярных координат или координатным способом.

При использовании только спутниковых технологий приемник также принудительно центрируется на пункте, после чего производится дальнейшее сгущение сети или разбивочные работы. Совместное применение тахеометра и спутникового приемника позволяет производить измерения одним или сразу двумя способами [3].

Для реализации метода «свободной станции» используются принудительно отцентрированные на пункте отражатели или светоотражающие пленки.

Для наблюдения за осадками и деформациями сооружений и оборудования в качестве исходной высотной основы используется репер, расположенный внизу сваи. При применении тахеометра из тригонометрического нивелирования определяется также и отметка пунктов сети сгущения или разбивочной основы.

Таким образом, использование пунктов такой конструкции значительно облегчает геодезическое обеспечение строительства и повышает точность определения координат исходных и определяемых пунктов. Важным достоинством предлагаемой конструкции пункта является тот факт, что на нем имеются координаты шести точек, в то время как пункт строительной сетки имеет только одну точку. Это позволяет производить установку тахеометра и выполнять измерения практически в любой точке промплощадки.

Создание планово-высотной основы с использованием ОГП позволяет проводить деформационный мониторинг как на этапе строительно-монтажных работ, так и при эксплуатации основных объектов ТЭС.

Согласно нормативным документам к обязательным объектам, подлежащим деформационному мониторингу, в частности наблюдению за осадками и деформациями, относятся [14–18]:

- здания (главный корпус ТЭС; здания дробильных устройств; многоэтажный административ-

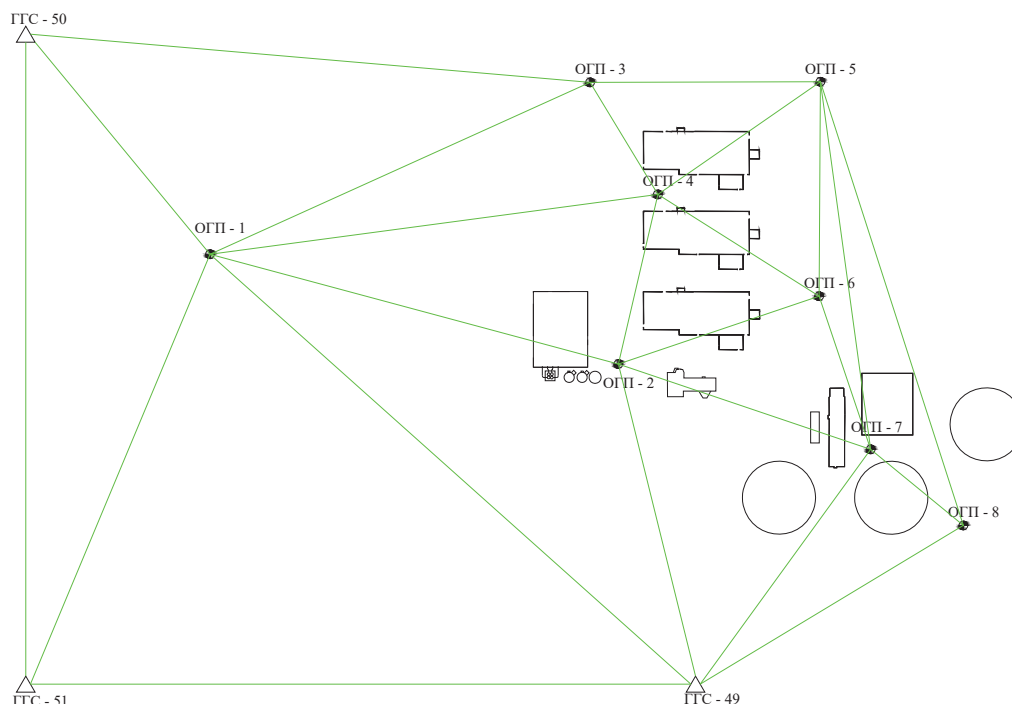


Рис. 5. Схема создания обоснования с применением ОГП

Fig. 5. Diagram of development of background applying FGP

ный корпус; береговые насосные станции; здания водоподготовительной установки с баками на опорах);

- сооружения (дымовые трубы; градирни; опоры эстакад топливоподдачи; опоры эстакад технологических трубопроводов; фундаменты под турбоагрегаты; фундаменты под котлы; фундаменты под дробилки; резервуары для хранения мазута 10000 м³ и более; плотины водохранилища).

Градирни являются одним из наиболее эффективных устройств, предназначенных для охлаждения воды в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий [19]. В зависимости от конструкции каркаса, градирни делятся на прямоугольные (рис. 6) и башенные (рис. 7).

В градирнях с прямоугольным каркасом охлаждение воды происходит за счет вентиляторных установок, расположенных на верхнем ярусе градирни (рис. 8).

Вентиляторная установка градирни состоит:

- из электродвигателя, установленного на раме; рама путем болтового соединения прикреплена к металлическому каркасу градирни;
- приводного вала; одним концом вал муфтой соединен с электродвигателем, другим концом муфтой соединен с редуктором;
- углового редуктора, установленного на раме; рама путем болтового соединения прикреплена к металлическому каркасу градирни;
- рабочего колеса, жестко посаженного на выходном валу редуктора;

- выходного диффузора, установленного на кольцевой балке; балка болтами крепится к каркасу градирни.

В подвижных элементах вентиляторной установки возможно возникновение вибрации, которая оказывает влияние на основное оборудование градирни. Вследствие чего возникает аварийная ситуация и выход из строя основного оборудования [18].

В градирнях с конструкцией башенного каркаса тяга воздуха, охлаждающего циркулирующую воду, создается за счет высокой вытяжной башни.

Вытяжные башни служат для создания естественной тяги благодаря разности удельных весов воздуха, поступающего в градирню, и нагретого воздуха, выходящего из градирни. В настоящее время высота башенного каркаса достигает 60–150 м. При данной высоте вытяжной башни необходимо контролировать ее вертикальное положение [17].

В данном случае при любой форме каркаса градирни необходимо проводить деформационный мониторинг.

В деформационный мониторинг эксплуатируемых градирен входит:

- сбор и анализ данных о проведении предыдущих циклов деформационного мониторинга;
- определение осадки и деформации градирни;
- определение пространственного положения каркаса градирни, при различной мощности основного оборудования градирни.

На основе практического опыта проведения деформационного мониторинга в условиях вечно-



a/a



b/b

Рис. 6. Основные виды градирен прямоугольной формы с вентиляторной установкой на крыше: а) сухая градирня Серовской ГРЭС; б) шестисекционная градирня

Fig. 6. Main types of rectangular cooling towers with fan system on the roof: a) dry cooling tower of Serovsk region power station; b) six section cooling tower



Рис. 7. Общий вид башенных градирен с металлическим (слева) и железобетонным (справа) каркасами

Fig. 7. General view of chimney-type cooling power with metal (left) and reinforced concrete (right) frames

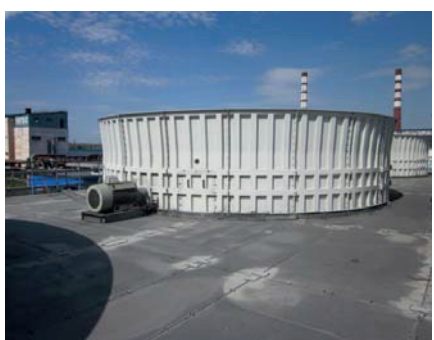


Рис. 8. Расположение вентиляторных установок

Fig. 8. Fan installation location

мерзлых грунтов на действующих энергетических объектах Няганской ГРЭС и Серовской ГРЭС были разработаны технологические схемы деформационного мониторинга эксплуатируемых градирен (рис. 9).

Первый этап деформационного мониторинга. Важным этапом при сборе и анализе данных о предыдущих циклах деформационного мониторинга является достоверность полученной информации. Встречаются не профильные организации, выполнявшие работы по наблюдению за осадками и деформации градирен, которые оши-

бочно определяют фактическое положение градирни.

В связи с этим рекомендуем выполнять контрольные циклы деформационного мониторинга способом высокоточного геометрического нивелирования короткими лучами по осадочным маркам, расположенным на монолитных фундаментах или колоннах каркаса градирни по программе I или II классов [18, 19].

В качестве примера на рис. 10 представлена схема нивелирного хода по доступным осадочным маркам каркаса градирни.

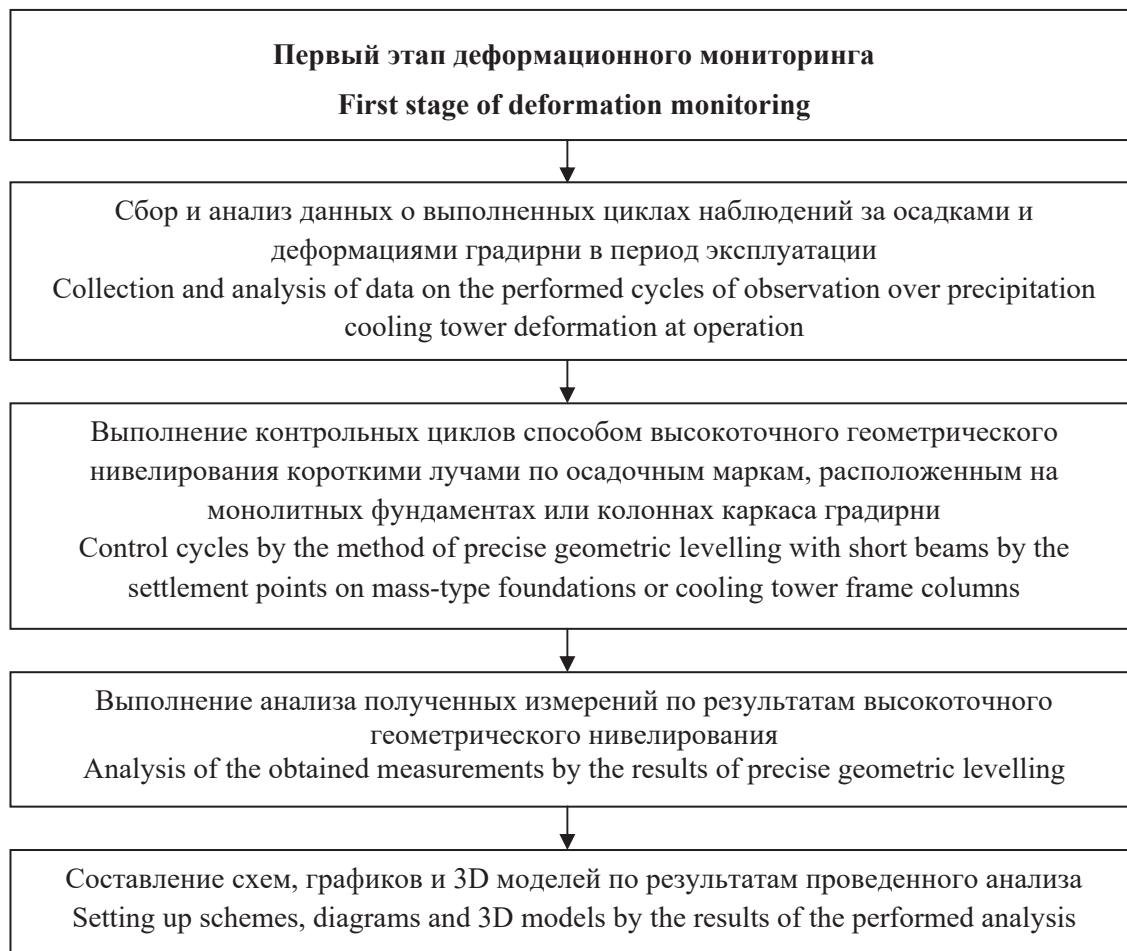


Рис. 9. Технологическая схема первого этапа деформационного мониторинга

Fig. 9. Processing chart of the first stage of deformation monitoring

Далее выполняется анализ полученных измерений по результатам высокоточного геометрического нивелирования. На основе этих данных составляются схемы, графики и 3D модели деформационного состояния фундаментов каркаса градирни [20–22].

На втором этапе деформационного мониторинга определяется пространственное положение каркаса при различной нагрузке основного оборудования градирни [19, 21, 22] (рис. 11).

Перед началом выполнения измерений необходимо провести рекогносцировку пунктов планово-высотной основы на территории эксплуатируемой градирни. Часто данные пункты после введения в эксплуатацию градирен утрачиваются. В таком случае необходимо создавать планово-высотную основу в станционной системе координат или условной системе координат.

Данная система создается с помощью пленочных отражателей ОП-50, так как является менее трудозатратной и экономически целесообразной [23]. Далее система уравнивается в программном продукте Credo, и уравненные координаты присваиваются пленочным отражателям. Сходимость

взаимного положения в созданной системе должна быть не грубее 1 мм. Перед началом проведения циклов деформационного мониторинга необходимо провести маркирование характерных точек каркаса градирни. Для этого используется кернение, окраска маркерами или установка пленочных отражателей.

Затем приступают к выполнению циклов деформационного мониторинга при различной номинальной мощности основного оборудования градирни согласно технологической схеме второго этапа деформационного мониторинга (рис. 10).

Завершающим этапом проведения деформационного мониторинга является анализ полученных данных по результатам полевых измерений и выявление недопустимых отклонений пространственного положения каркаса градирни [19, 21, 22].

Деформационный мониторинг необходимо проводить и в зимний период, т. к. происходит существенное обледенение несущих колонн каркаса градирни. Возникает дополнительная нагрузка, что может повлечь за собой деформации каркаса (рис. 12).

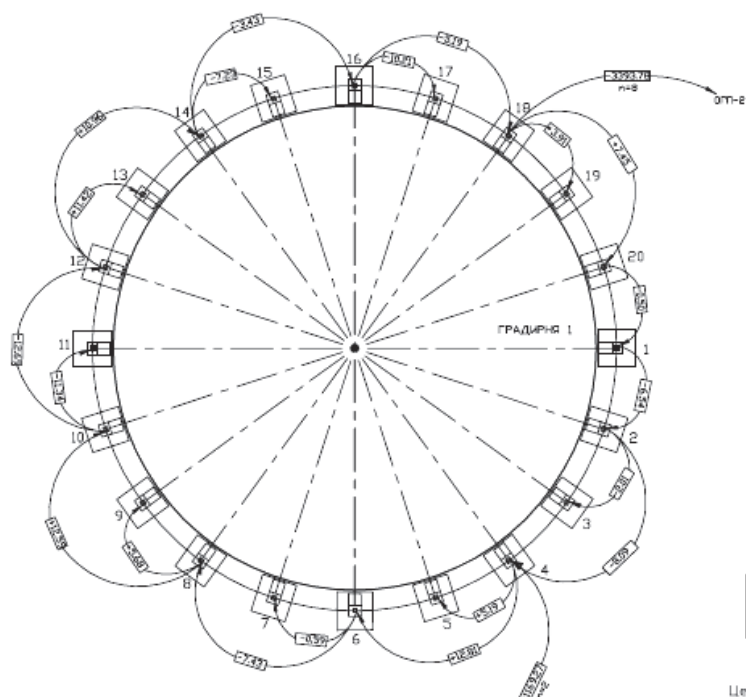


Рис. 10. Схема нивелирного хода

Fig. 10. Levelling line diagram



Рис. 11. Технологическая схема второго этапа деформационного мониторинга

Fig. 11. Process scheme of the second stage of deformation monitoring



Рис. 12. Каркас градирни в зимний период

Fig. 12. Cooling tower frame in winter

Заклучение

1. Использование ОГП значительно облегчает деформационный мониторинг в условиях вечномерзлых грунтов. Важным достоинством предлагаемой конструкции пункта является тот факт, что на нем имеются координаты шести точек, в то время как пункт строительной сетки имеет только одну точку. Это позволяет производить установку тахеометра и выполнять измерения практически в любой точке промплощадки. Выбранная конструкция ОГП позволяет сохранить стабильное планово-высотное положения в данных физико-геологических условиях.

2. Данные этапы деформационного мониторинга позволяют определить пространственное положение каркаса разной формы и компоновки основного оборудования эксплуатируемой градирни.
3. Разработанная методика позволяет определить пространственное положение каркаса градирни при различных режимах работы основного оборудования от 0 до 100 % мощности, со среднеквадратической ошибкой не более 2,0 мм.
4. Разработанная методика деформационного мониторинга была внедрена в процесс эксплуатации градирен на трех пусковых комплексах Няганской ГРЭС и Серовской ГРЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. URL: http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937-2011.pdf (дата обращения: 10.12.2017).
2. Aydin C. Power of global test in deformation analysis // Journal of Surveying engineering. – 2012. – V. 138. – № 2. – P. 51–56.
3. Behr J.A., Hudnut K., King N. Monitoring structural deformation at Pacoima dam, California, using continuous GPS // Proc. of ION-GPS98. – Nashville TN, USA, September 15–18, 1998. – P. 59–68.
4. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (Engineering survey for construction. Basic principles). Актуализированная редакция СНиП 11–02–96. – М.: Минрегион России, 2016. – 141 с.
5. Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: монография. – Новосибирск: СГТА, 2003. – 356 с.
6. Инженерно-геодезические работы для проектирования и строительства энергетических объектов / А.А. Карлсон, Л.И. Пик, О.А. Пономарев, В.И. Сердюков. – М.: Недра, 1986. – 349 с.
7. ГОСТ 24846–2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-24846-2012> (дата обращения: 10.12.2017).
8. Analysis of Thermal Deformations of an Arched Theatre Ceiling / A. Eichhorn, J. Fabiankowski et al. // FIG Working Week 2007. – Hong Kong, China, May 13–17, 2007. URL: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_1f/ts01f_01_eichhorn_etal_1279.pdf (дата обращения: 10.12.2017).
9. Аврунев Е.И. Анализ стабильности исходных пунктов на основании спутниковых определений в геодезической сети сгущения // Гео-Сибирь-2010. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: VI Международный научный конгресс: сб. материалов. – Новосибирск: СГТА, 2010. – Ч. 2. – С. 127–133.
10. Zienkiewicz M., Hejbudzka K., Dumalski A. Multi split functional model of geodetic observations in deformation analyses of the Olsztyn Castle // Acta Geodyn. Geomater. – 2017. – V. 14. – № 2 (186). – P. 195–204. DOI: 10.13168/AGG.2017.0003
11. Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций / Г.Г. Китаев, В.Г. Сальников, Н.М. Рябова, Е.Л. Соболева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Международный научный конгресс. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск, 8–18 апреля 2014. – Новосибирск: СГТА, 2014. – С. 7–13.
12. Олейник А.М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности // ГЕО-Сибирь-2011. VII Международный научный конгресс. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 6 т. – Новосибирск, 19–29 апреля 2011. – Новосибирск: СГТА, 2011. – Т. 1. – Ч. 1. – С. 37–40.
13. Афонин Д.А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной террито-

- рии // Геодезия и картография. – 2011. – № 9. – С. 16–22.
14. РД 34.21.322–94. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатирующихся тепловых электростанций. – М.: Оргрэс, 1997. – 63 с.
15. Hiller B., Jambaev H. Development and natural tests of automated systems of deformation monitoring // Vestnik SSUGT. – 2016. – Iss. 1 (33). – P. 48–61.
16. СО 153–34.21.322–2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформаций зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2003. – 45 с.
17. Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners / S. Gordon, D. Lichti, J. Franke, M. Stewart // 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. – Nottingham, U.K., 2004. – 16 p.
18. Гурьев В.В., Стражников А.М. О проблемах безопасной эксплуатации большепролетных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 5. – С. 35–36.
19. Новиков В.Ю. Применение деформационного мониторинга для предотвращения аварий промышленных объектов // Экология и промышленность России. – 2014. – № 2. – С. 46–48.
20. Mill T., Ellmann A. Terrestrial Laser Scanning Technology for Deformation Monitoring of a Large Suspension Roof Structure // INGEО 2014 – 6th International Conference on Engineering Surveying. – Prague, Czech Republic, April 3–4, 2014. – P. 179–186.
21. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures / Hao Yang, Mohammad Omidalizandi, Xiangyang Xu, Ingo Neumann // Composite Structures. – 2017. – № 169. – P. 173–179.
22. Measurement of dam deformations by terrestrial interferometric techniques / M. Alba, L. Fregonese et al. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. V. XXXVII. P. B1. – Beijing, 2008. – P. 133–139. URL: www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/23.pdf (дата обращения: 10.12.2017).
23. Zienkiewicz M.H., Baryla R. Determination of vertical indicators of ground deformation in the Old and Main City of Gdansk area by applying unconventional method of robust estimation // Acta Geodyn. Geomater. – 2015. – № 3 (179). – P. 249–257.

Поступила 07.02.2018 г.

Информация об авторах

Уставич Г.А., доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Аврунев Е.И., кандидат технических наук, заведующий кафедрой кадастра и территориального планирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Сальников В.Г., кандидат технических наук, зав. кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела Сибирского государственного университета геосистем и технологий.

Попов В.К., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и землеустройства Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 528.02

FEATURES OF DEFORMATION MONITORING OF ENGINEERING STRUCTURES IN PERMAFROST CONDITIONS

Georgy A. Ustavich¹,

ystavich@mail.ru

Evgeny I. Avrunev¹,

avrynev_ei@ngs.ru

Valery G. Salnikov¹,

salnikov@snga.ru

Viktor K. Popov²,

pvk@tpu.ru

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies,
10, Plakhotny street, Novosibirsk, 630108, Russia.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance. Nowadays the list of engineering geodetic survey with the soils with seasonal frost, which has been developed and applied now, require further studies of permafrost soils relating to development of technique of generating geodetic control and delivering stability of this control sections at different stages of its development. These issues are of great importance at construction and operation of energy sites at permafrost soils.

The aim of the research is to develop and introduce the process chart of developing stable field compilation survey under conditions of permafrost soils at Nyagan and Seversk District Power Plants (Nyagan, Khanty-Mansiisk autonomous district).

Subjects: ground benchmarks, construction netting items, fundamental geodetic points, general geodetic points, permafrost soils.

Methods: free station method, back linear-angular sight, satellite observations, determination of space position of cooling tower frame, geometric levelling by short beams, observation over precipitation and deformation of buildings, constructions and main equipment.

Results. The authors have proposed the processing chart of geodetic monitoring in permafrost soils. The paper introduces the diagram of fundamental geodetic point, which is capable of conserving stable space position during construction and installation activities and at operation of power plants. The authors developed the technique of deformation monitoring of cooling tower with different frame shape. The developed technique allows determining the space position of the cooling tower frame at different operation modes of the main equipment with power from 0 to 100 %, with root-mean square error not more than 2,0 mm.

Key words:

Horizontal and vertical survey, turbine, chimney-type cooling tower, geometric levelling, tachometer, deformation monitoring.

REFERENCES

1. GOST 31937–2011 *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya* [State Standard 31937–2011 Buildings and structures. Rules of investigation and monitoring of technical condition]. Available at: [http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937–2011_.pdf](http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937-2011_.pdf) (accessed: 10 October 2017).
2. Aydin C. Power of global test in deformation analysis. *Journal of surveying engineering*, 2012, vol. 138, no. 2, pp. 51–56.
3. Behr J.A., Hudnut K., King N. Monitoring structural deformation at Pacoima dam, California, using continuous GPS. *Proc. of ION-GPS98*. Nashville TN, USA, September 15–18, 1998. pp. 59–68.
4. SP 47.13330.2016. *Inzhenernye izyskaniya dlya stroitelstva. Osnovnye polozheniya* [SR 47.13330.2016. Engineering survey for construction. Basic principles]. Moscow, Minregion Russia Publ., 2016. 141 p.
5. Zhukov B.N. *Geodezichesky kontrol sooruzheny i oborudovaniya promyshlennyykh predpriyatiy: monografiya* [Geodetic control of structures and equipment at enterprises: monography]. Novosibirsk, SGGa Publ., 2003. 356 p.
6. Karlson A.A., Pik L.I., Ponomarev O.A., Serdyukov V.I. *Inzhenerno-geodezicheskie raboty dlya proektirovaniya i stroitelstva energeticheskikh obektov* [Engineering and geodetic operations for design and construction of power objects]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 349 p.
7. GOST 24846–2012 *Grunty. Metody izmereniya deformatsy osnovany zdany i sooruzheny* [State Standard 24846–2012 Soils. Methods of measuring deformation of building bases]. Available at: [http://docs.cntd.ru/document/gost-24846–2012](http://docs.cntd.ru/document/gost-24846-2012) (accessed: 10 December 2017).
8. Eichhorn A., Fabiankowitsch J. Analysis of Thermal Deformations of an Arched Theatre Ceiling. *FIG Working Week 2007*. Hong Kong, China, May 13–17, 2007. Available at: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_1f/ts01f_01_eichhorn_etal_1279.pdf (accessed: 10 October 2017).
9. Avrunev E.I. Analiz stabilnosti iskhodnykh punktov na osnovanii sputnikovykh opredeleny v geodezicheskoy seti sgushcheniya [Analysis of initial points stability based on satellite definitions in geodetic fine grid]. *Geo-Sibir-2010. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya: VI Mezhdunarodny nauchnyy kongress* [Geo-Sibir-2010. Geodetics, geoinformatics, mapping, mine surveying. VI International Scientific congress. Proc.]. Novosibirsk, SGGa Publ., 2010. P. 2. pp. 127–133.
10. Zienkiewicz M., Hejbudzka K., Dumalski A. Multi split functional model of geodetic observations in deformation analyses of the Olsztyn Castle. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2017, vol. 14, no. 2 (186), pp. 195–204. DOI: 10.13168/AGG.2017.0003

11. Kitaev G.G., Salnikov V.G., Ryabova N.M., Soboleva E.L. Metodika razvitiya PVO s ispolzovaniem elementov stroitelnykh konstruktov [Method of PVO development using structural building components]. *Interekspo GEO-Sibir-2014. X Mezhdunarodny nauchnyy kongress. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya* [GEO-Sibir-2014. Geodetics, geoinformatics, mapping, mine surveying. X International Scientific congress. Proc.]. Novosibirsk, 8–18 April 2014. Novosibirsk, SGGA Publ., 2014. pp. 7–13.
12. Oleynik A.M. Vybor mest zakladki gruntovykh reperov s uchetom prognoznogo izmeneniya geokriologicheskoy obstanovki ot tekhnogennoy deyatel'nosti [Selection of places for filling ground benchmarks considering prospecting changes in permafrost environment because of technogenic activity]. *Interekspo GEO-Sibir-2011. VII Mezhdunarodny nauchnyy kongress. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya* [GEO-Sibir-2014. Geodetics, geoinformatics, mapping, mine surveying. X International Scientific congress. Proc.]. Novosibirsk, 19–29 April 2011. Novosibirsk, SGGA Publ., 2011. Vol. 1, P. 1, pp. 37–40.
13. Afonin D.A. Optimization model of selecting the scheme of planning geodetic mark out network in the built-up area. *Geodeziya i kartografiya*, 2011, no. 9, pp. 16–22. In Rus.
14. RD 34.21.322–94. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i provedeniyu nablyudeny za osadkami fundamentov i deformatsiyami zdaniy i sooruzheny stroyashchikhsya i ekspluatiruyushchikhsya teplovykh elektrostantsy [RD 34.21.322–94. Guidelines in organization and performance of observations over settlement of foundations and deformation of buildings and structures of power stations]. Moscow, Orgres Publ., 1997. 63 p.
15. Hiller B., Jambaev H. Development and natural tests of automated systems of deformation monitoring. *Vestnik SSUGT*, 2016, Iss. 1 (33), pp. 48–61.
16. SO 153–34.21.322–2003. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i provedeniyu nablyudeny za osadkami fundamentov i deformatsii zdaniy i sooruzheny stroyashchikhsya i ekspluatiruyemykh teplovykh elektrostantsy [SO 153–34.21.322–2003. Guidelines in organization and performance of observations over settlement of foundations and deformation of buildings and structures of power stations]. Moscow, TsTIITO ORGRES Publ., 2003. 45 p.
17. Gordon S., Lichti D., Franke J., Stewart M. Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners. *1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering*. Nottingham, U.K., 2004. 16 p.
18. Guryev V.V., Strazhnikov A.M. On the issue of safety use of long-span buildings and constructions. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2007, no. 5, pp. 35–36. In Rus.
19. Novikov V.Yu. Application of deformation monitoring for preventing accidents at enterprises. *Ekologiya i promyshlennost*, 2014, no. 2, pp. 46–48. In Rus.
20. Mill T., Ellmann A. Terrestrial Laser Scanning Technology for Deformation Monitoring of a Large Suspension Roof Structure. *INGEO 2014 – 6th International Conference on Engineering Surveying*. Prague, Czech Republic, April 3–4, 2014. pp. 179–186.
21. Hao Yang, Mohammad Omidalizarandi, Xiangyang Xu, Ingo Neumann. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. *Composite Structures*, 2017, no. 169, pp. 173–179.
22. Alba M., Fregonese L. Measurement of dam deformations by terrestrial interferometric techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, 2008. Vol. XXXVII, P. B1, pp. 133–139. Available at: www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/23.pdf (accessed: 10 December 2017).
23. Zienkiewicz M.H., Baryla R. Determination of vertical indicators of ground deformation in the Old and Main City of Gdansk area by applying unconventional method of robust estimation. *Acta Geodyn. Geomater.*, 2015, no. 3 (179), pp. 249–257.

Received: 7 February 2018.

Information about the authors

Georgy A. Ustavich, Dr. Sc., professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Evgeny I. Avrunev, Cand. Sc., head of the department, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Valery G. Salnikov, Cand. Sc., head of the department, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Viktor K. Popov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.