

## **ОСОБЕННОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Серик Талеутаевич Сексембаев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант, тел. (983)121-74-89, e-mail: tobi\_uchiha\_96@mail.ru

*Наталья Николаевна Кобелева*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

*Антон Викторович Никонов*

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, кандидат технических наук, ведущий инженер, e-mail: sibte@bk.ru

Наблюдения за осадками зданий и сооружений промышленных предприятий являются частью геодезического мониторинга, который проводится как в процессе строительства объекта, так и в эксплуатационный период. Систематическое проведение геодезических измерений в рамках мониторинга имеет большое значение для обеспечения безопасного функционирования инженерного объекта и в некоторых случаях позволяет предотвратить техногенные аварии, экологические катастрофы. В статье приводятся результаты определения абсолютных значений осадок фундаментов зданий, сооружений и оборудования одной из строящихся ТЭЦ. Особенностью выполнения измерений на объекте является применение веерообразного тригонометрического нивелирования, позволившего заметно ускорить выполнение полевого этапа работ. Нивелирование выполнялось электронным тахеометром Leica TS-06 с точностью измерения углов наклона 2". Невязки замкнутых полигонов и полевой контроль измерений на станции показали высокую точность тригонометрического нивелирования, сравнимого с геометрическим нивелированием II класса.

**Ключевые слова:** геодезический мониторинг, осадка фундаментов зданий, тригонометрическое нивелирование, электронный тахеометр.

## **ESPECIALLY GEODETIC MONITORING WHEN SURVEILLANCE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS OF ENERGY FACILITIES DURING THE CONSTRUCTION PERIOD**

*Serik T. Seksembaev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (983)121-74-89, e-mail: tobi\_uchiha\_96@mail.ru

*Natalia N. Kobeleva*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.

*Anton V. Nikonov*

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Ph. D., Leading Engineer, e-mail: sibte@bk.ru

Observations of the precipitation of buildings and structures of industrial enterprises are part of geodetic monitoring, which is carried out both during the construction of the facility and during the operational period. Systematic geodetic measurements in the framework of monitoring is of great importance to ensure the safe operation of the engineering facility and in some cases can prevent man-made accidents, environmental disasters. The article presents the results of determining the absolute values of sediment foundations of buildings, structures and equipment of one of the thermal power plants under construction. The peculiarity of the measurements on the object is the use of fan-shaped trigonometric leveling, which allowed to significantly speed up the implementation of the field stage of work. Leveling was performed by electronic total station Leica TS-06 with the accuracy of measuring the vertical angles of 2". Residuals of closed polygons and field control measurements at the station showed high accuracy of trigonometric leveling, comparable with geometric leveling class II.

**Key words:** geodetic monitoring, precipitation of the foundations of buildings, trigonometric leveling, total station.

### *Введение*

Развитие энергетического комплекса является одним из приоритетных направлений для обеспечения устойчивого экономического развития Российской Федерации. В настоящее время в нашей стране эксплуатируется множество энергетических объектов, кроме того в последние годы наблюдается строительство и ввод в эксплуатацию новых современных энергоблоков, многие из которых в качестве топлива используют природный газ. Для предотвращения опасных деформаций строительных конструкций, вызванных неравномерными осадками фундаментов, на энергетических объектах принято выполнять геодезический мониторинг [1]. Мониторинг геодезическими методами представляет собой комплекс периодических инженерно-геодезических измерений, выполняемых с целью определения количественных параметров общих деформаций зданий и сооружений, их несущих ограждающих конструкций и фундаментов на всех стадиях строительства и в процессе эксплуатации. В процессе мониторинга устанавливаются причины выявленных смещений и деформаций, составляется прогноз их развития, а также вырабатываются меры для устранения нежелательных процессов.

Геодезические измерения в период строительства выполняются с периодичностью, предусмотренной проектной документацией. Как правило, циклы измерений приурочены к завершению ответственных этапов строительства, связанных с увеличением нагрузки на грунты основания. В период эксплуатации установлена следующая периодичность: в первые два года – два цикла измерений, в дальнейшем (до стабилизации осадок) – один цикл в год. После стабилизации осадок (1 мм в год и менее) измерения выполняют раз в пять лет [2, 3].

К объектам энергетики можно отнести широчайший перечень промышленных предприятий (тепловые электростанции, гидроэлектростанции, теплоэлектроцентрали и т. д.) генерирующих, передающих и распределяющих электроэнергию, в том числе объекты электросетевого хозяйства. Каждый объект индивидуален и требует при разработке программы мониторинга учитывать особенности работы объекта, его расположение, конфигурацию наблюдаемых зданий и сооружений. Исходя из этого, назначается число измеряемых параметров, точность, периодичность и методы измерений [7].

Рассмотрим особенности проведения геодезического мониторинга при наблюдении за осадками зданий, сооружений и оборудования на одной из строящейся ТЭЦ.

### *Методы и материалы*

Главный корпус ТЭЦ конструктивно представляет собой стальной каркас, выполненный по рамно-связевой схеме. Котельный цех находится в осях 5–18 / Д-Н и является одноэтажным зданием с многоэтажной этажеркой. Колонны установлены с шагом 6 м. Между осями 11 и 12 расположен деформационный шов (расстояние между колоннами в этих осях 3 м).

Жесткость каркаса обеспечивается: в поперечном направлении – жестким сопряжением колонн с фундаментами, а также поперечными рамами каркаса; в продольном направлении – постановкой вертикальных связей по колоннам и покрытию. Фундаменты главного корпуса выполнены на свайном ростверке. Глубина заложения свайных ростверков – 1,2–2,5 м, длина свай – 8–12 м.

Целью мониторинга на объекте является определение абсолютных значений осадок фундаментов зданий, сооружений и оборудования и сравнение их с расчетными (допустимыми).

В соответствии с рабочей документацией на территории площадки строительства запланирована установка трех глубинных реперов. На момент начала геодезических наблюдений установка реперов еще не была выполнена, поэтому в качестве высотной основы временно использовались осадочные марки, установленные в цокольной части зданий старой постройки, расположенных за пределами зоны строительства.

На территории строящейся ТЭЦ в фундаментах зданий, сооружений и оборудования было установлено 278 осадочных марок: 132 штуки на колоннах каркаса главного корпуса, 6 штук на стволе дымовой трубы, порядка 50 штук в фундаментах под технологическое оборудование (котлы, мельницы, питательные насосы). Остальные марки заложены в фундаментах галереи топливоподдачи, разгрузочного устройства и других зданий и сооружений основного производственного назначения.

Особенностью выполнения цикла нивелирования на строящейся ТЭЦ явились резкие перепады высот. Осадочные марки были приварены к колоннам с расчетом, чтобы они возвышались над уровнем пола на 0,6 м. На момент выполнения измерений внутри главного корпуса еще полностью не выполнены

подсыпка грунта и устройство полов (рис. 1). Таким образом, осадочные марки оказались на уровне 1,6–2,0 м относительно поверхности земли. В таких условиях выполнение геометрического нивелирования практически невозможно.



Рис. 1. Вид внутри главного корпуса на момент строительства

Отраслевыми методическими указаниями [3] допускается в условиях резких перепадов высот при наблюдениях за осадками применять метод тригонометрического нивелирования, тем не менее, в указаниях подробно изложена методика лишь геометрического нивелирования. В работах [4–6] заложена теоретическая база применения тригонометрического нивелирования при наблюдениях за осадками фундаментов, а в работах [7–13] приведен положительный производственный опыт применения данного и других методов.

Важным пунктом [3] является указание на точность измерения осадок в строительный период: средняя квадратическая ошибка (СКО) определения превышения на станции не должна превышать 0,5 мм. Будем считать, что данное условие будет уверенно выполнено при измерении превышения на станции с СКО равной 0,25–0,30 мм (соответствует II классу точности измерений по ГОСТ [19]). Для сравнения, в эксплуатационный период СКО измерения превышения принимается 0,15 мм.

В ходе наблюдений использовался электронный тахеометр Leica TS-06 с паспортной точностью измерения угла наклона 2", расстояний – 1,5 мм. Расстояние от тахеометра до рейки не превышало 25 м. Визирование выполнялось на пленочный отражатель, наклеенный на нивелирную рейку. Рейка устанавливалась на осадочных марках отвесно посредством круглого уровня. Наведение на пленочный отражатель выполнялось дважды, с допустимым расхождением между значениями превышения 0,3 мм.

Выполнялось веерообразное тригонометрическое нивелирование (рис. 2), так как в этом случае не требуется строгое соблюдение равенства плеч, необходимое в геометрическом нивелировании для исключения влияния угла  $i$  нивелира. Измерения выполнялись при одном положении вертикального круга, так как ежедневно, перед работой и при резких перепадах температуры воздуха производилась поверка места нуля. При работе на станции (Ст-2) выполнялись измерения минимум на две марки, определенные с предыдущей станции (Ст-1). При завершении работы на станции выполнялось контрольное измерение на первую осадочную марку – тем самым контролировалась стабильность положения тахеометра (допустимое расхождение принималось 0,3 мм).

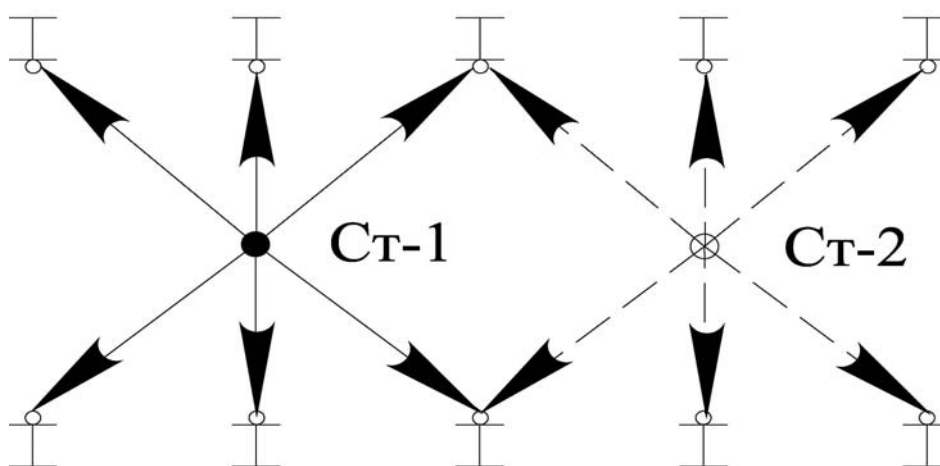


Рис. 2. Схема веерообразного нивелирования

С целью выполнения контроля ходы прокладывались в виде замкнутых полигонов. Допустимая невязка в полигонах подсчитывалась по формуле [19]

$$f_{\text{доп}} = 0,5\sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество штативов в полигоне.

В процессе камеральной обработки невязок полигонов, превышающих допустимые значения, обнаружено не было.

### ***Результаты***

По результатам измерений составлены схемы нивелирных ходов. Превышения вычислялись таким образом, чтобы внешний вид схемы был аналогичен отчетной документации при выполнении геометрическом нивелировании [20]. Фрагмент схемы нивелирования внутри главного корпуса представлен на рис. 3.

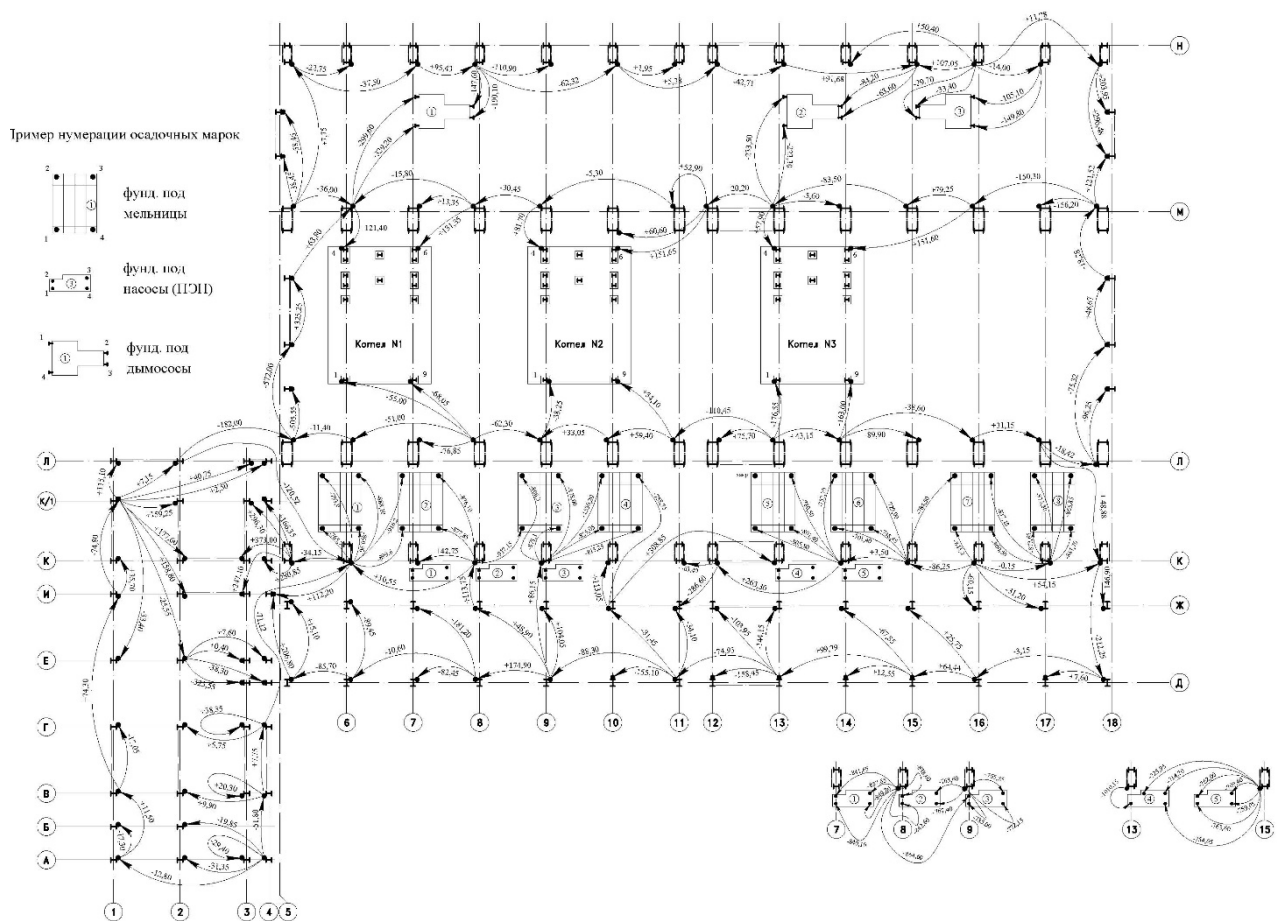


Рис. 3. Схема нивелирных ходов по осадочным маркам, установленным на колоннах здания главного корпуса и фундаментах оборудования

Уравнивание нивелирной сети производилось по способу профессора В.В. Попова. После уравнивательных вычислений был составлен каталог отметок и вычислены приращения осадок за время, прошедшее с момента проведения предыдущего цикла измерений, а также абсолютные значения осадок фундаментов по формуле

$$S_{Hi} = H_i - H_0, \quad (2)$$

Где  $H_0$  – отметка наблюдаемой осадочной марки в начальном (нулевом) цикле наблюдений;

$H_i$  – отметка той же марки в  $i$ -м цикле наблюдений.

### Обсуждение

Осадки марок за полгода, прошедшие между циклами наблюдений, составили в среднем по главному корпусу минус 2,3 мм, а максимальное значение не превысило 3,6 мм. Зафиксированные величины осадок не окажут негативно-

го влияния на дальнейшие строительные работы и по своей величине незначительно превышают точность измерений.

Веерообразное нивелирование позволило заметно повысить производительность работ, так как отпала необходимость в постоянной перестановке инструмента, которая была характерна для геометрического нивелирования при обеспечении равенства плеч в пределах 0,5 м.

Осадки марок железобетонной дымовой трубы  $H = 100,0$  м за аналогичный временной период находятся в пределах от минус 1,1 до минус 3,2 мм. Разность осадок марок, расположенных на диаметре, составила  $\Delta S = 2,2$  мм, что соответствует величине приращения крена на уровне верхнего обреза дымовой трубы величиной 29 мм [10].

### *Заключение*

Тригонометрическое нивелирование с успехом может применяться при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений промышленных предприятий, что особенно актуально в строительный период, когда выполнение геометрического нивелирования в силу местных условий затруднено, а в большинстве случаев невозможно.

Электронные тахеометры становятся в настоящее время универсальным геодезическим оборудованием, применяемым на строительной площадке при решении широкого спектра задач. Тахеометры применяются при разбивочных работах [11], выполнении исполнительных съемок, контроле монтажа строительных конструкций и технологического оборудования [21, 22], а также в мониторинговых целях, в том числе при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений [6–9], определении кренов дымовых труб [10] и создании внутрицеховых пространственных геодезических сетей [21].

Перспективными являются исследования по изучению характера воздействия негативных факторов (рефракции, вибраций от работающего оборудования и строительной техники и т. д.) на точность геодезических измерений с целью разработки методик, позволяющих минимизировать влияние указанных факторов.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (последняя редакция). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. СО 153-34.20.501–2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – СПб. : ДЕАН, 2012. – 336 с.

3. СО 153-34.21.322–2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200039729>.

4. Ворошилов А. П. Измерение осадок зданий и сооружений электронными тахеометрами // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура», вып. 3. – 2005. – № 13. – С. 37–39.

5. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
6. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго разрядов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 39–45.
7. Беспалов Ю. И., Дьяконов Б. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
8. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.
9. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
10. Никонов А. В., Никонов В. Г. Современные способы определения кренов промышленных дымовых труб // Геодезия и картография. – 2015. – № 4. – С. 13–21.
11. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 48–54.
12. Резник Б. Е. Непрерывные геодезические измерения деформаций строительных конструкций эксплуатируемых сооружений // Геопрофи. – 2008. – № 4. – С. 4–10.
13. Резник Б. Е. Методика контроля фундаментов ВЭУ при непрерывном мониторинге // Геопрофи. – 2016. – № 6. – С. 40–47.
14. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Проект геодезических работ при мониторинге зданий и сооружений аквапарка «КВАРСИС» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 31–36.
15. Геодезический мониторинг строительства жилого высотного здания / Г. А. Уставич, С. В. Середович, В. Г. Сальников, В. А. Скрипников // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 93–99.
16. Анализ точности методов определения геометрических параметров технологического оборудования / В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, Д. А. Бирюкова, В. В. Танюхин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 18–25.
17. Никонов А. В., Чешева И. Н., Рябова Н. М. Разработка программы геодезического мониторинга деформаций гидротехнического сооружения ГРЭС – двухступенчатого перепада // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 3–12.
18. Скрипников В. А., Скрипникова М. А., Штейн И. И. Определение кренов высотных сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 35–38.



19. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Межгос. стандарт. – Введ. 01.07.2013.– М. : Стандартинформ, 2014. – 22 с.

20. Китаев Г. Г., Никонов А. В. Схема построения высотной сети при наблюдениях за осадками зданий и сооружений на территории ТЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Международ. науч. конгр. : Международ. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 28–33.

21. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международ. науч. конгр. : Международ. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.

22. Никонов А. В., Мурзинцев П. П. Определение деформаций каркаса главного корпуса ГРЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Международ. науч. конгр. : Международ. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 10–16.

© С. Т. Сексембаев, Н. Н. Кобелева, А. В. Никонов, 2019