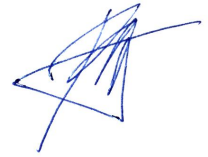


На правах рукописи



Сальников Валерий Геннадьевич

Совершенствование методики
геодезических измерений для обеспечения
строительства и эксплуатации энергетических объектов

25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Уставич Георгий Афанасьевич.

Официальные оппоненты:

Столбов Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», профессор кафедры геодезии;

Щербаков Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщений», заведующий кафедрой инженерной геодезии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет геодезии и картографии».

Защита состоится «12» ноября 2015 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/valery-g-salnikov/>

Автореферат разослан «18» сентября 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Середович В. А.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 2015. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ

630108, Новосибирск, Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ

630108, Новосибирск, Плеханова, 8

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Для обеспечения процесса строительства и дальнейшей безопасной эксплуатации ответственных инженерных сооружений и оборудования, таких, как атомные и тепловые электростанции, турбоагрегаты, градирни требуется разработка соответствующих технологических схем производства инженерно-геодезических измерений. К таким измерениям в первую очередь относятся высокоточное определение координат элементов сооружений и оборудования, высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами, высокоточное определение вертикальности инженерных сооружений сложной конструкции. Методика выполнения измерений должна основываться на учете условий выполнения измерений, а также на применении в геодезическом производстве новых видов геодезических приборов, к которым относятся электронные тахеометры, цифровые нивелиры, спутниковые приемники и наземные лазерные сканеры.

Существующая нормативно-техническая документация на строительство и эксплуатацию тепловых электростанций (ТЭС) и атомных электростанций (АЭС) предъявляет жесткие требования к обеспечению необходимой точности выполнения высокоточных инженерно-геодезических измерений в различных климатических и физико-географических условиях. К таким условиям относятся наличие в районе промышленной площадки степени промерзания грунтов, возможности наводнения, сейсмоактивности и т. д.

Проблема обеспечения надежной работы энергетического оборудования в значительной степени зависит от качества его монтажа на всех стадиях возведения зданий ТЭС и АЭС, а также основного оборудования, к которому относятся турбоагрегаты. В связи с этим возникает задача обеспечения производства высокоточных инженерно-геодезических измерений с целью установки элементов конструкций и технологического оборудования в проектное положение во время возведения инженерных сооружений в условиях вечной мерзлоты.

К настоящему времени в геодезической литературе достаточно хорошо освещены вопросы применения электронных тахеометров и цифровых нивелиров для производства высокоточных инженерно-геодезических измерений. Однако исследования по разработке технологических схем производства инженерно-геодезических измерений при строительстве и эксплуатации парогазовых установок и башенных градирен с применением указанных приборов выполнены в недостаточном объеме.

В большинстве случаев объекты строительства находятся на значительном расстоянии от мест проведения метрологической поверки геодезических приборов. Поэтому метрологические параметры тахеометров и цифровых нивелиров, определенные в лабораторных условиях, при длительной транспортировке и от случайных механических ударов значительно меняются. Для обеспечения высокоточных инженерно-геодезических измерений необходимо производить внеочередную метрологическую поверку работоспособности геодезических приборов в условиях промплощадки.

В связи с этим совершенствование методики производства инженерно-геодезических измерений при строительстве инженерных сооружений и монтаже технологического оборудования в условиях наличия на территории промплощадки вечномерзлых грунтов, а также метрологического обеспечения применяемых при этом приборов является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Разработкой технологических схем производства высокоточных инженерно-геодезических работ, а также методов и средств измерений, предназначенных для геодезического обеспечения процесса возведения и дальнейшей эксплуатации инженерных сооружений, внесли отечественные и зарубежные ученые, такие как Брайт П. И., Васютинский И. Ю., Визиров Ю. В., Ганьшин В. Н., Гуляев Ю. П., Жуков Б. Н., Зайцев А. К., Карлсон А. А., Ключин Е. Б., Лебедев Н. Н., Левчук Г. П., Новак В. Е., Пискунов М. Е., Спиридонов А. И., Уставич Г. А., Ямбаев Х. К., Marcak P., Tarnowski K. и другие.

Целью исследований является совершенствование методики производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для целей геодезического обеспечения процесса строительства и эксплуатации ТЭС и их оборудования в условиях наличия на территории промплощадки вечной мерзлоты, а также разработка методик метрологического обеспечения применяемых при этом геодезических приборов.

Основные задачи исследований:

- выполнить анализ существующих методов, средств и технологических схем, выполняемых при строительстве и эксплуатации ТЭС;
- разработать схемы создания геодезического обоснования в условиях вечной мерзлоты с применением пунктов новой конструкции и современных геодезических приборов;
- разработать технологические схемы производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации парогазовой установки, а также геометрии возводимых башенных градирен разной высоты;
- разработать методики и схему полевого метрологического полигона для проведения внеочередной метрологической поверки работоспособности системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка», а также тахеометров, которые можно применить непосредственно на территории промплощадки.
- провести апробацию и внедрение предложенных технологических схем производства инженерно-геодезических измерений при строительстве и эксплуатации тепловых электростанций и их оборудования.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- выполнены исследования по разработке и созданию схем геодезического обоснования на промплощадке с применением геодезических пунктов новой конструкции и современных геодезических приборов, которые позволяют производить высокоточные инженерно-геодезические измерения в условиях наличия вечномёрзлых грунтов;

– с учетом конструктивных особенностей парогазовых турбин разработана методика производства инженерно-геодезических работ, позволяющая обеспечить монтаж и эксплуатацию парогазовой установки с необходимой точностью;

– разработана технологическая схема геодезических измерений с использованием тахеометров и спутниковых приемников, позволяющая выполнять контроль геометрических параметров башенных градирен в процессе их строительства и эксплуатации;

– разработаны методики и схемы метрологического полигона, которые позволяют производить внеочередную метрологическую поверку системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка», а также тахеометров непосредственно на территории промплощадки;

– выполнены исследования влияния вертикальной рефракции при отрицательной температуре на результаты высокоточного геометрического нивелирования цифровыми нивелирами, которые позволяют усовершенствовать методику нивелирования.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Результаты теоретических исследований и их последующее применение позволяют обеспечить требуемую точность измерений при строительстве и эксплуатации тепловых электростанций. Они могут быть использованы и при строительстве других ответственных инженерных сооружений, например АЭС, а также их оборудования.

На основании выполненных исследований разработаны схемы создания геодезической основы с применением пунктов новой конструкции в условиях наличия на территории промплощадки вечномёрзлых грунтов и внедрены технологические схемы геодезического обеспечения строительства тепловых электростанций, а также разработаны полевые стенды для проведения внеочередной метрологической поверки работоспособности геодезических приборов в условиях промплощадки.

Методология и методы исследования включают в себя проведение теоретических исследований с использованием теории вероятности, математической

статистики, а также теории ошибок измерений и методы реализации результатов измерений в лабораторных и производственных условиях.

Положения, выносимые на защиту:

– схемы создания геодезического обоснования в условиях вечной мерзлоты с применением геодезических пунктов новой конструкции и технических возможностей современных приборов для обеспечения строительства инженерных сооружений;

– технологические схемы производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации системы «турбоагрегат – фундамент – основание» и геометрии возводимых башенных градирен;

– методика разбивки круговых подкрановых путей, предназначенных для возведения металлического каркаса башенной градирни;

– методики и схемы полевого метрологического полигона для проведения внеочередной метрологической поверки работоспособности системы «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка», а также тахеометров, которые применяются на территории промплощадки.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. На основе применения практических разработок было выполнено геодезическое обеспечение строительства и ввода в эксплуатацию первой, второй и третьей очереди пусковых комплексов Няганской ГРЭС. Результаты исследований внедрены в геодезическое производство в АО «Сибтехэнерго», а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ). Акты внедрения прилагаются.

Результаты исследований, практические рекомендации и выводы обсуждались и докладывались на ежегодных Международных научных конгрессах «ГЕО-Сибирь» в 2010–2011 гг., «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» в 2012–2015 гг. (Россия, г. Новосибирск).

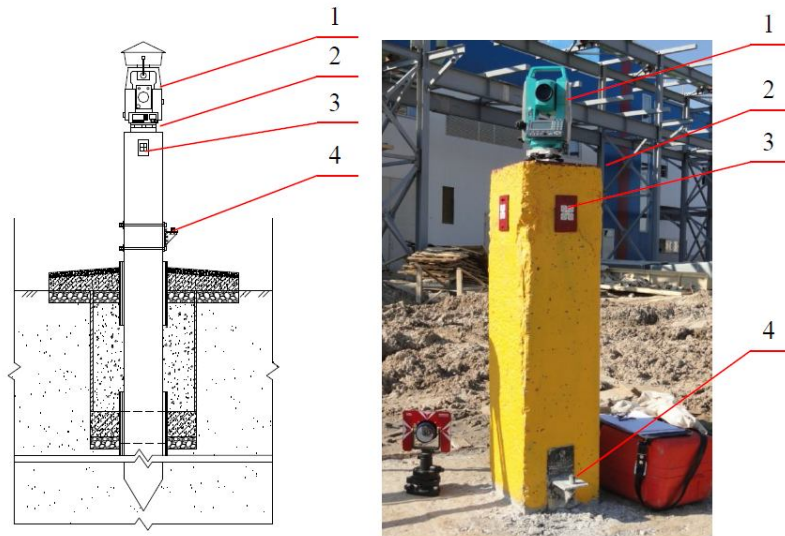
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследований, формулируются цели и основные задачи этих исследований, их научная новизна, практическая и теоретическая значимость диссертации, методология и методы, выполняемые при исследовании, а также основные положения, выносимые автором на защиту с приведением степени достоверности и апробации результатов этих исследований.

В первом разделе проведен подробный анализ способов и средств выполнения высокоточных инженерно-геодезических работ для обеспечения строительства и эксплуатации инженерных сооружений, а также определения их осадок и деформаций на всех этапах. На основании выполненного анализа делается вывод, что в условиях наличия на промплощадке вечномерзлых грунтов, а также плотного размещения инженерных сооружений и подземных коммуникаций классическое построение обоснования в виде строительной сетки не удовлетворяет современным технологиям строительного производства. Применяемые в настоящее время схемы создания обоснования способом «свободной станции» с использованием тахеометров также нуждаются в усовершенствовании. В связи с этим автором произведена постановка задач исследований, необходимых для более надежного обеспечения создания геодезических сетей на промплощадке.

Во втором разделе предлагается технологическая схема создания геодезического обоснования с учетом наличия на промплощадке вечномерзлых грунтов, а также возможного уничтожения пунктов геодезической сети в процессе строительства. Для этого разработан и внедрен на Няганской ГРЭС опорный геодезический пункт (ОГП) (рисунок 1), с помощью которого можно создавать геодезическое обоснование по различным схемам: с помощью тахеометров, спутниковых приемников, комбинированным прибором, включающим в себя тахеометр и спутниковый приемник, и нивелиров. Опорный геодезический пункт представляет собой железобетонную сваю, погруженную на глубину

до 12 м, которая включает в себя устройство для принудительного центрирования, а также расположенные по бокам четыре светоотражающие пленки и высотный репер. Если для создания обоснования используется только тахеометр, то после его принудительного центрирования измерения выполняются способом полярных координат или координатным способом.



1 – тахеометр (спутниковый приемник); 2 – устройство для принудительного центрирования; 3 – отражающая пленка; 4 – высотный репер

Рисунок 1 – Схема опорного геодезического пункта

Для реализации способа «свободной станции» используются принудительно отцентрированные отражатели или закрепленные светоотражающие пленки. При использовании только спутниковых приемников они также принудительно центрируются, после чего производится дальнейшее сгущение геодезической сети. Если используется тахеометр и спутниковый приемник, то производится сгущение или обновление сети различными способами в зависимости от ситуации. Для наблюдения за осадками и деформациями сооружений и оборудования в качестве исходной высотной основы используется репер, расположенный

внизу сваи. При реализации всех способов из тригонометрического нивелирования определяется также и высотная отметка опорных геодезических пунктов.

В зимний период при наличии больших масс снежного покрова удобно размещать и использовать пункты обоснования, расположенные на крышах одно- или двухэтажных производственных зданий (рисунок 2, *а*). В этом случае способами полярных координат или координатным способом на определенном участке промплощадки можно без помех производить соответствующие геодезические разбивочные работы.

Для обеспечения строительно-монтажных работ предлагается сгущать планово-высотную основу с помощью светоотражающих пленок и центрировочных столиков, которые устанавливаются на строительных конструкциях (рисунок 2, *б*). В качестве мест установки центрировочных столиков удобно применять металлические колонные каркасы или эстакад технологических трубопроводов, которые установлены на свайные фундаменты.

*а)**б)*

Рисунок 2 – Пункты: *а*) на крыше здания; *б*) на строительных конструкциях

С учетом конструктивных особенностей парогазовой установки (ПГУ) и наличия на территории промплощадки вечной мерзлоты, автором усовершенствована технологическая схема состава геодезических работ при монтаже и эксплуатации системы «турбоагрегат – фундамент – основание» (ТФО) на всех этапах ее функционирования (рисунок 3).



Рисунок 3 – Технологическая схема монтажа турбоагрегата

Монтаж турбоагрегата осуществляется поэтапно, начиная с подготовительных работ, которые включают в себя проверку сохранности и развития плано-высотной основы на территории машинного зала; вынос главных осей и подготовку проектных чертежей для геодезической привязки всех основных частей, из которых состоит турбоагрегат. Установка основных частей турбоагрегата (паровая турбина, газовая турбина, цилиндры, генераторы и ротора с подшипниками) в плано-высотное положение требует проведения измерений с ошибкой порядка от 0,05 до 0,10 мм на всех этапах монтажных работ. Выверка высотного положения газовой и паровой турбин ранее осуществлялась по реакциям опор с применением динамометров. Нами была реализована методика с применением цифровых нивелиров.

Исходный цикл высокоточного геометрического нивелирования прокладывается по нижнему и верхнему строению фундамента турбоагрегата и в дальнейшем используется для полученных результатов во время проведения центровки роторов. Разработанная цикличность (таблица 1) выполнения высокоточного геометрического нивелирования с учетом наличия вечномёрзлых грунтов внедрена на Няганской ГРЭС. Предлагаемая цикличность нивелирования также имеет большое значение для определения времени предварительной стабилизации фундамента парогазовой установки. После окончания значительных деформаций фундамента можно выполнять окончательную центровку роторов.

Таблица 1– Рекомендуемое число и последовательность циклов измерений при монтаже ПГУ–420

Этапы строительства ПГУ	Рекомендуемое число циклов измерений и их последовательность
1 Монтаж и окончание заливки нижней плиты	Один цикл измерений в месяц, до наступления второго этапа строительства фундамента
2 Монтаж верхнего строения фундамента	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
3 Окончание монтажа верхнего строения фундамента	Один цикл измерений в месяц, по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
4 Установка газовой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа

Этапы строительства ПГУ	Рекомендуемое число циклов измерений и их последовательность
5 Укладка и центровка роторов газовой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
6 Установка генератора	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
7 Установка паровой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
8 Укладка и центровка роторов паровой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
9 Установка конденсатора, диффузора, деаэратора насосов и вспомогательного оборудования	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
10 Окончательная центровка роторов и проточной части	Один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
11 Набор вакуума и веса воды	Один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
12 Пуск турбоагрегата 72 ч	За сутки до пуско-наладочных работ один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента

Для повышения информативности о деформационном состоянии системы ТФО на всех этапах ее функционирования предлагается использовать трехмерную модель (рисунок 4).

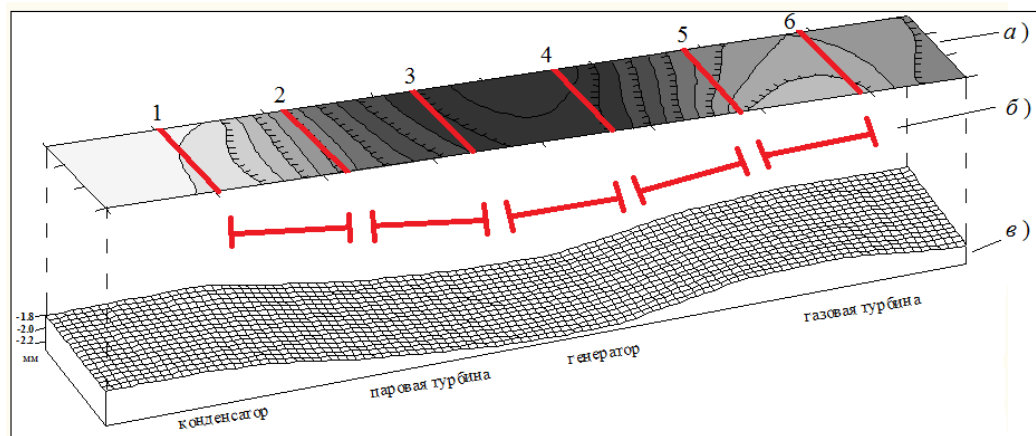


Рисунок 4 – 3D модель деформации фундаментной плиты и линии валопровода после завершения монтажа турбоагрегата:

а) верхнее строение фундамента; б) линия валопровода; в) нижнее строение фундамента; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – оси подшипников

С ее применением имеется возможность определять участки фундамента, которые наиболее подвержены деформации (в основном прогибу), в том числе и тепловой, по оси валопровода.

В третьем разделе приводятся по две технологические схемы геодезического обеспечения строительства башенных градирен с металлическим и железобетонным каркасами, путем монтажа металлоконструкций с помощью крана, перемещающегося по круговому рельсовому пути вокруг градирни и путем монтажа железобетонной оболочки с помощью крана, установленного в центре градирни.

При строительстве градирни с металлическим каркасом основными этапами геодезических работ являются: сооружение путей вокруг градирни, создание рабочего обоснования, контроль сборки секций градирни, обеспечение геометрии градирни при ее возведении.

Для сооружения рельсовых путей разработана методика выполнения измерений по секторам (180° , 270° и 360°) из центра градирни способом координат (полярных координат) или способом свободной станции.

Создание рабочего обоснования рекомендуется производить обратной линейно-угловой засечкой от пунктов промплощадки в несколько этапов: сначала с установкой пунктов сети внутри градирни на дне бассейна, затем с установкой их на стене водосборного бассейна (рисунок 5).

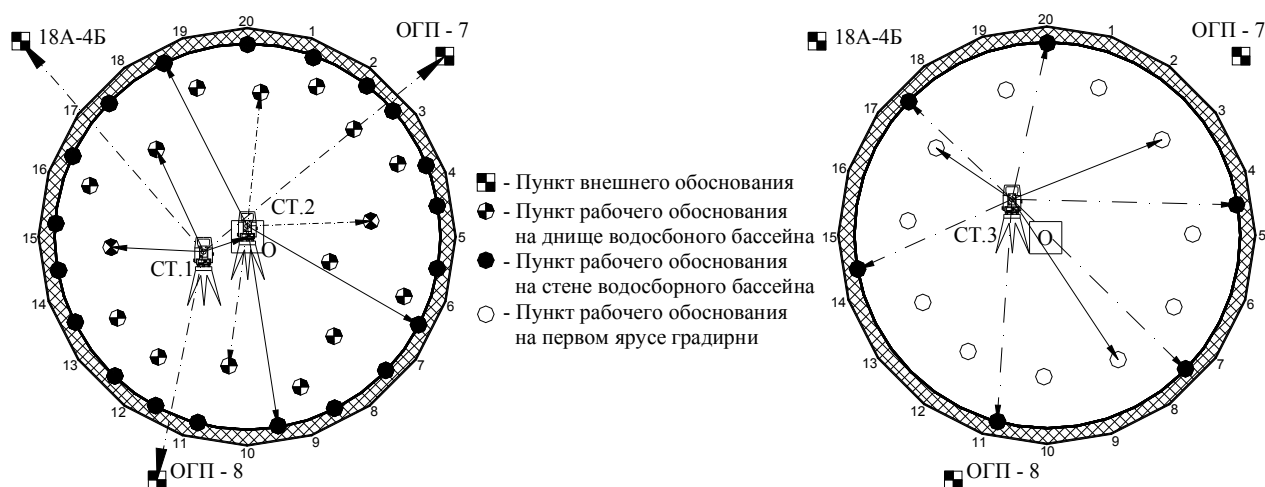


Рисунок 5 – Создание рабочего обоснования внутри бассейна градирни

Средняя квадратическая ошибка определения координат рабочего обоснования на дне и стене бассейна не должна превышать от 2 до 3 мм. После этого с помощью обратной линейно-угловой засечки обоснование создается на первом монтажном горизонте с использованием пунктов рабочего обоснования.

Перед началом возведения градирни с металлическим каркасом необходимо определять геометрию укрупненных секций каркаса градирни. Для контроля геометрии при сборке укрупненных секций каркаса градирни нами разработаны методика и полевой метрологический стенд (рисунок 6). Контроль геометрии производится тахеометром непосредственно на промплощадке при любом положении секции со средними квадратическими ошибками определения их длин не более 3 мм.

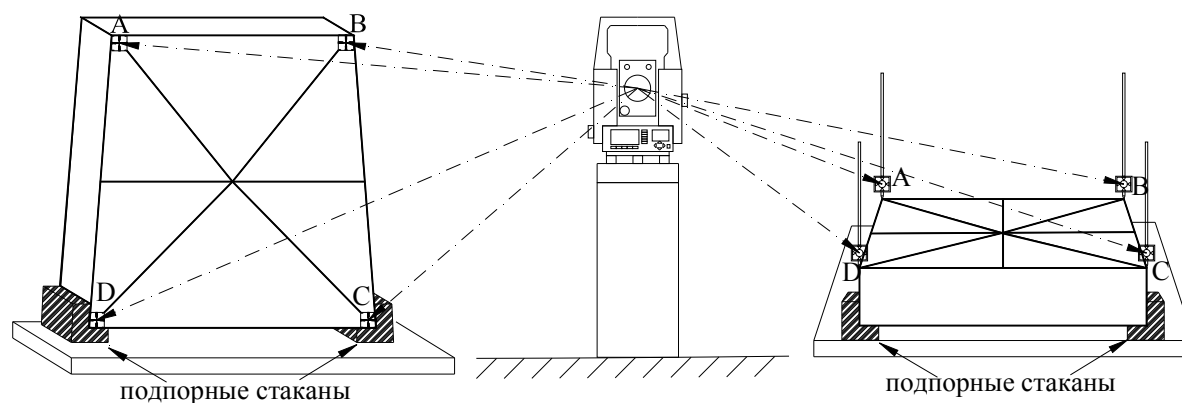
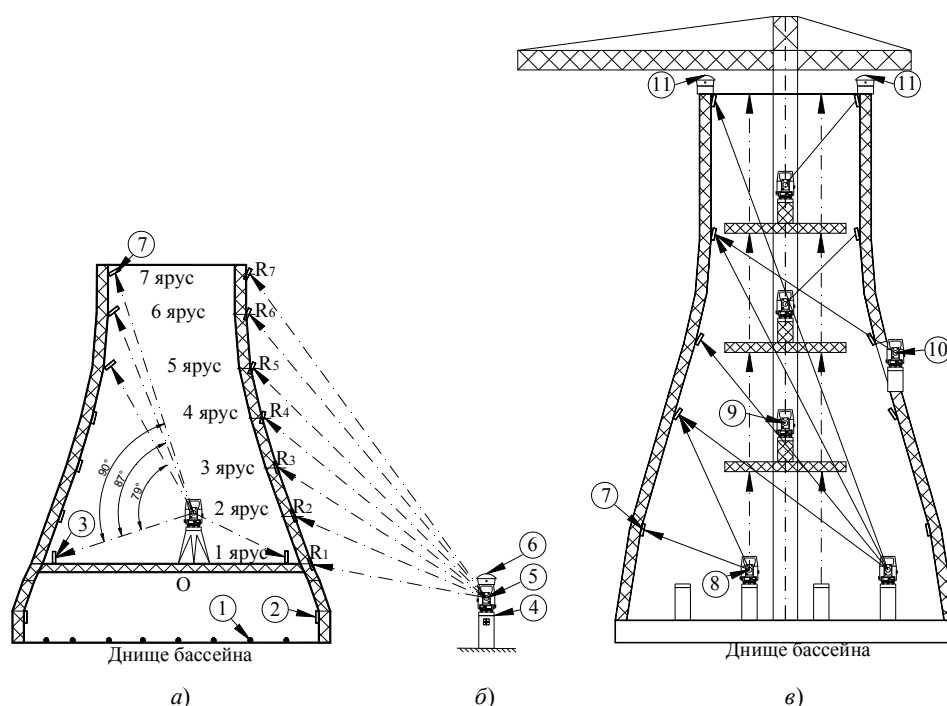


Рисунок 6 – Схема геодезического контроля геометрии укрупненной секции

Контроль геометрии градирни производится по координатам ее секций и его можно выполнять с пунктов рабочего обоснования (рисунок 7, а) и с пунктов внешнего обоснования (рисунок 7, б). В первом случае тахеометр устанавливается в удобном месте на первом ярусе, затем производится определение координат станции, после чего по проектным координатам устанавливаются секции градирни на соответствующих ярусах. Во втором случае тахеометр устанавливается на пунктах внешнего обоснования, а затем также по проектным координатам устанавливаются секции градирни.

Общая технологическая схема возведения железобетонных градирен практически такая же, как и при возведении градирен с металлическим каркасом. В связи с тем, что железобетонные градирни достигают высоты от 150 до 180 м, то возникают значительные трудности в выполнении геодезических измерений с целью обеспечения их геометрии при возведении. Эти трудности обусловлены необходимостью значительного наклона трубы тахеометра, размещением на дне бассейна значительного количества коммуникаций, а также влиянием внешних условий (в осенний и весенний периоды на высоте более 100 м часто бывают туманы). Поэтому в зависимости от влияния указанных факторов разработаны соответствующие технологические схемы производства геодезических работ.



Пункты рабочего обоснования: 1 – на днище бассейна; 2 – на стене бассейна; 3 – на первом ярусе градирни; 4, 5, 6 – пункты внешнего обоснования: для тахеометра; для спутникового приемника; 7 – пленки на каркасе градирни; 8, 9, 10 – тахеометр на пункте рабочего обоснования; на кране; на опалубке; 11 – спутниковый приемник на опалубке каркаса градирни

Рисунок 7 – Контроль геометрии башенных градирен:

- а)* с пунктов рабочего обоснования; *б)* с пунктов внешнего обоснования; *в)* с установкой геодезических приборов на кране или на оболочке градирни

Первая схема основана на использовании пунктов рабочего обоснования, созданного на дне бассейна (рисунок 7, в). Для этого на них устанавливается тахеометр и со средней квадратической ошибкой порядка 8 мм по проектным координатам выставляется опалубка первого и второго ярусов. При установке последующих ярусов средняя квадратическая ошибка увеличивается и на последних ярусах достигает величины от 15 до 20 мм.

Некоторыми ограничениями применения данной методики являются, как уже указывалось выше, значительный наклон зрительной трубы и туман. Кроме того, при использовании данной методики предъявляются повышенные требования к технике безопасности при выполнении геодезических измерений.

Для уменьшения наклона зрительной трубы можно использовать схему с установкой тахеометра на площадке крана по центру градирни. В этом случае прибором вертикального проецирования сначала производится установка тахеометра над центром градирни, а затем по проектным координатам выставляется опалубка. При использовании данной схемы тахеометр может устанавливаться на кране на высоту до 100 м (рисунок 7, в). Тахеометр можно устанавливать и не над центром градирни. Для этого обратной линейно-угловой засечкой сначала определяются его координаты, после чего производится определение координат опалубки.

При использовании третьей схемы тахеометр устанавливается на пунктах внешнего обоснования и по проектным координатам производится установка опалубки (рисунок 7, в). В этом случае пункты обоснования должны располагаться на расстоянии от 150 до 200 м от градирни, что не всегда может быть удобным.

И, наконец, при использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) один приемник устанавливается на пункте внешнего обоснования, а другие – на опалубке (рисунок 7, в). Так как конструктивные элементы градирни находятся в единой системе координат промплощадки, то по приращениям координат производится установка опалубки в проектное положение.

В четвертом разделе выполнены исследования по разработке методик проведения внеочередных метрологических поверок тахеометров и цифровых нивелиров непосредственно на промплощадке, а также результаты их апробации в указанных условиях. Необходимость в проведении таких поверок обусловлена тем, что при транспортировке указанных приборов к месту выполнения работ возможны случайные механические удары, которые приводят к нарушению их работоспособности. Особенно это относится к сохранению масштаба изображения системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» и величины средней квадратической ошибки измерения превышения на станции.

Первая методика поверки цифровых нивелиров основана на измерении превышения при разных горизонтах цифрового нивелира (рисунок 8).

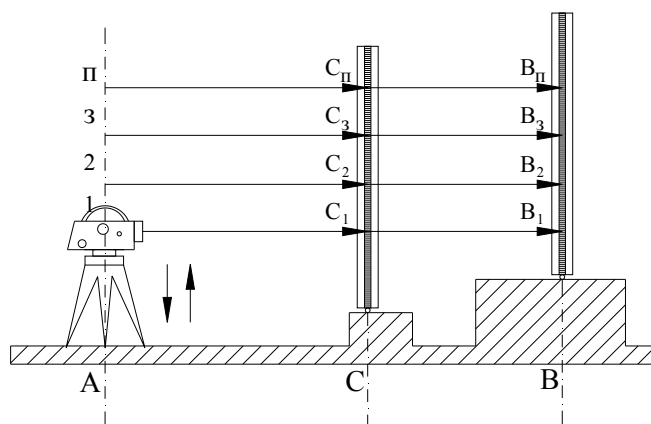


Рисунок 8 – Методика поверки с изменением горизонта нивелира

При нормальной работе цифрового нивелира превышения, полученные при разной его высоте, а также в прямом и обратном ходах, должны быть равны между собой (в пределах точности измерений), т. е.

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n. \quad (1)$$

Величины разностей превышений $h_1 - h_2 = \Delta$, $h_2 - h_3 = \Delta$, ..., $h_{n-1} - h_n = \Delta$ свидетельствуют о качестве нормальной работы нивелира.

Сущность второй методики заключается в измерении превышения на станции по прямому и обратному изображению штрих-кодовой рейки. В этом случае, если взять отсчет по прямой и отсчет по перевернутой рейке (рисунок 8), то сумма этих отсчетов будет равна длине штрих-кодовой рейки

$$O_1 + O'_1 = L_1. \quad (2)$$

Кроме того, если такие отсчеты выполнены при разной высоте нивелира, то при исправной его работе сумма этих отсчетов должна быть постоянной, т. е.

$$\begin{aligned} O_1 + O'_1 &= L_1, \\ O_2 + O'_2 &= L_2, \\ &\dots\dots\dots \\ O_n + O'_n &= L_n. \end{aligned} \quad (3)$$

При этом должно соблюдаться (в пределах точности измерений) условие

$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = \text{const}. \quad (4)$$

Для определения средней квадратической ошибки измерения превышения на станции усовершенствована схема высотного станда ЦНИИГАиК с использованием осадочных марок сооружения (рисунок 9). Эту схему рекомендуется применять после транспортировки нивелира на значительные расстояния и если нивелирование длительное время выполняется при отрицательных температурах.

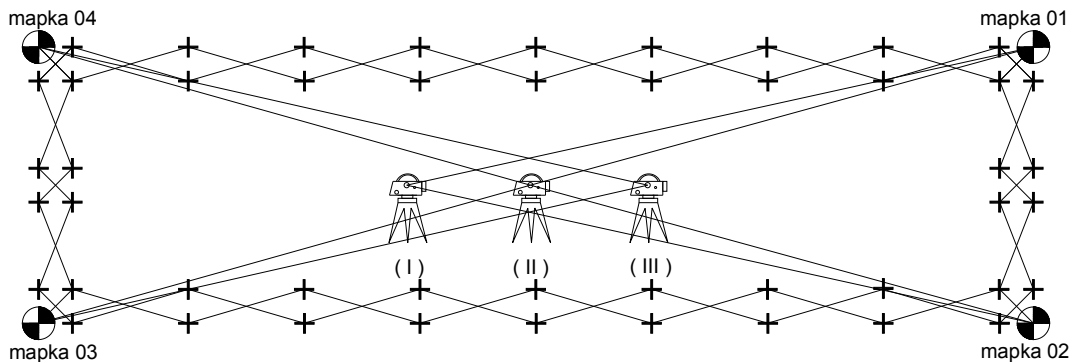


Рисунок 9 – Схема высотного станда на промплощадке Няганской ГРЭС

В связи с тем, что высокоточные инженерно-геодезические измерения выполняются при значительной вибрации и вертикальной рефракции, были выполнены исследования этого влияния на результаты нивелирования цифровыми нивелирами и угловых измерений тахеометром. Исследования выполнялись в условиях работающего оборудования НГРЭС в машинном зале и на промплощадке. Так как в районе работающих турбоагрегатов всегда имеется значительный перепад температур, то на положение визирной оси значительное влияние оказывает также и турбулентность воздуха. Исследованиями установлено, что в условиях влияния вибрации средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции увеличивается от 40 % до 70 %, а в целом ряде случаев измерения вообще выполнять невозможно. Такое увеличение обусловлено непрерывным изменением положения штрих-кода рейки на ПЗС-матрицы анализирующего устройства цифрового нивелира. Также увеличивается и средняя квадратическая ошибка измерения углов.

Такое увеличение ошибок измерений необходимо учитывать при монтаже проточной части турбоагрегата. Значительное уменьшение влияния вибрации на нивелирование и угловые измерения достигается применением амортизационных подкладок из войлока или резины.

Исследованиями также установлено, что вертикальная рефракция оказывает на работу цифровых нивелиров меньшее влияние, чем на оптические нивелиры. Это обусловлено тем, что у цифровых нивелиров отсчет по штрих-кодовой рейке производится не одиночным лучом, а угловым сектором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

– выполнен анализ развития геодезического обоснования на промплощадке классическими схемами. Установлено, что в условиях наличия вечномерзлых грунтов эти схемы не могут в полной мере обеспечить стабильность пространственного положения пунктов сети обоснования промплощадки;

– разработаны схемы создания обоснования промплощадки с применением пунктов новой конструкции, которые позволяют иметь на одном пункте шесть точек с известными координатами. Такая конструкция позволяет повысить их сохранность, стабильность пространственного положения и выполнять создание сети различными способами: с применением ГНСС технологий, линейно-угловых измерений тахеометрами, а также высотных измерений с применением цифровых нивелиров;

– разработаны технологические схемы производства инженерно-геодезических работ при возведении парогазовых установок, а также башенных градирен различной высоты.

Технологическая схема геодезических работ при возведении парогазовых установок включает в себя комплекс работ, необходимых при сооружении основания и фундаментов, нижнего и верхнего строения фундамента турбоагрегата, а также контроль монтажа основных конструктивных элементов турбоагрегата с требуемой точностью. На основе проведенных исследований составлен проект производства геодезических работ для второго пускового комплекса Няганской ГРЭС.

Технологическая схема производства геодезических работ для обеспечения геометрии возводимых градирен с железобетонным или металлическим каркасами позволяет выполнять измерения с рабочего обоснования, находящегося внутри градирни на дне бассейна или на монтажных горизонтах, а также с пунктов внешней сети обоснования; также разработан полевой стенд для контроля геометрии укрупненных секций;

– разработаны методики и схемы полевых метрологических полигонов для проведения внеочередных поверок тахеометров и цифровых нивелиров. Они позволяют контролировать работоспособность указанных приборов непосредственно на территории промплощадки, в том числе и после случайных механических ударов;

– выполнены исследования влияния вертикальной рефракции на результаты измерений цифровыми нивелирами при отрицательных температурах. На

основании выполненных исследований усовершенствована методика высокоточного геометрического нивелирования.

Выполненные исследования будут рекомендоваться для дальнейшего совершенствования методики создания геодезических сетей на промплощадках в условиях Крайнего Севера, а также в перспективе разработки методики геодезических измерений для целей строительства и эксплуатации градирен прямоугольной формы и турбоагрегатов мощностью 500 и 1 000 МВт, которые применяются на атомных электростанциях. Дальнейшее совершенствование методики метрологической поверки цифровых нивелиров связано с возможностью введения поправок в измеренное превышение за нарушение масштаба изображения штрих-кодовых реек.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Уставич, Г. А. Исследование цифровых нивелиров и реек [Текст] / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9–15.

2 Уставич, Г. А. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // Геодезия и картография. – 2011. – № 5. – С. 3–9.

3 Ашраф, А. Бешр. Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами [Текст] / А. Бешр. Ашраф, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина, А. Н. Теплых // Геодезия и аэрофотосъемка. – № 3. – 2012. – С. 123–126.

4 Уставич, Г. А. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики [Текст] / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 8–13.

5 Уставич, Г. А. Технологическая схема геодезических работ при монтаже турбоагрегатов [Текст] / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 45–51.

6 Уставич, Г. А. Схемы полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» [Текст] / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 51–55.

7 Уставич, Г. А. Технологическая схема разбивки и установки круговых рельсовых путей [Текст] / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев, В. Г. Сальников, А. В. Никонов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 66–69.

8 Ашраф, А. Бешр. Исследования вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами [Текст] / А. Бешр. Ашраф, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина, А. Н. Теплых // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 28–33.

9 Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров [Текст] / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.

10 Соболева, Е. Л. Исследование влияние рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Е. Л. Соболева, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 32–36.

11 Сальников, В. Г. Геодезические работы при возведении градирен большой высоты [Текст] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 72–76.

12 Соболева, Е. Л. Исследование влияние рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами при отрицательной температуре [Текст] / Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 81–84.

13 Рябова, Н. М. Методика исследования влияния рефракции на цифровые нивелиры [Текст] / Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // 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. 12–17.

14 Сальников В. Г. Технологическая схема разбивки круговых рельсов [Текст] // 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. 108–113.

15 Сальников В. Г. Технология геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата мощностью 420 МВт [Текст] // 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. 18–24.

16 Китаев, Г. Г. Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций [Текст] / Г. Г. Китаев, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, Е. Л. Соболева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 7–13.

17 Сальников, В. Г. Современная методика выноса главных осей турбоагрегатов [Текст] / В. Г. Сальников // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 27–34.

18 Уставич, Г. А. Геодезический контроль геометрических параметров укрупненных элементов градирни с металлическим каркасом [Текст] / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 8–14.