

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи



Сальников Валерий Геннадьевич

Совершенствование методики
геодезических измерений для обеспечения
строительства и эксплуатации энергетических объектов

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор
Уставич Георгий Афанасьевич

Новосибирск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПРОИЗВОДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ.....	10
1.1 Анализ способов и средств определения осадок и деформаций инженерных сооружений и оборудования по высоте.....	10
1.2 Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали.....	21
1.3 Способы определения координат.....	26
1.4 Анализ видов деформации и наблюдений за ними.....	31
1.5 Постановка задач исследований.....	37
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ «ТУРБИНА-ФУНДАМЕНТ-ОСНОВАНИЕ» (ТФО).....	40
2.1 Состав основных геодезических работ, выполняемых при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и оборудования теплоэлектростанций (ТЭС).....	40
2.2 Разработка схемы создания обоснования с учетом вечномерзлых грунтов.....	42
2.3 Разработка схемы создания разбивочной основы.....	53
2.4 Разработка методики, определения степени стабильности пунктов обоснования и разбивочной сети.....	58
2.5 Состав геодезических работ при строительстве и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание».....	65
2.6 Методика производства геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата.....	68
2.7 Методика передачи главных осей на дно котлована.....	74

2.8	Разработка технологической схемы производства геодезических работ при сооружении системы «основание-фундамент».....	81
2.9	Технологическая схема геодезического обеспечения монтажа турбоагрегата.....	89
2.10	Расчет изменения центровок роторов по геодезическим данным.....	98
3	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ.....	104
3.1	Состав инженерно-геодезических работ при строительстве башенной градирни.....	104
3.2	Методика выноса главных осей градирни.....	106
3.3	Методика производства работ на нулевом этапе строительства.....	109
3.4	Разработка технологической схемы разбивки и установки круговых рельсовых путей.....	114
3.5	Геодезическое обеспечение возведения градирни с металлическим каркасом.....	120
3.6	Геодезическое обеспечение геометрических параметров железобетонной градирни.....	134
4	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ И СИСТЕМЫ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР-ШТРИХКODOВАЯ РЕЙКА».....	149
4.1	Особенности устройства и проведения метрологической поверки электронных геодезических приборов.....	149
4.2	Разработка методик и высотных стендов для метрологической поверки систем «цифровой нивелир-штрихкодовые рейки».....	151
4.3	Разработка методик определения масштаба изображения штрихкодовой рейки в полевых условиях.....	156
4.4	Схема полевого высотного стенда на промплощадке.....	169

4.5 Исследование влияния внешних условий на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами в условиях промплощадки.....	173
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	183
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) ДОПУСКАЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА.....	203
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0.....	204

ВВЕДЕНИЕ

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 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 вечномёрзлых 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-штрихкодовая 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 вечномерзлых 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-штрихкодированная 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-штрихкодовая 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).

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПРОИЗВОДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Анализ способов и средств определения осадок и деформаций инженерных сооружений и оборудования по высоте

Геометрическое нивелирование короткими лучами. В настоящее время высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами является самым распространенным методом определения осадок зданий, сооружений и оборудования. Выполненные исследования на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК [20, 22, 52, 68, 89], а также Государственном специализированном проектно-институте (ГСПИ) и ЦНИИГАиК, позволили повысить точность определения разности высот между двумя марками. При благоприятных внешних условиях средняя квадратическая ошибка определения превышения на станции составила от 0,03 до 0,05 мм при длине визирного луча от 7 до 12 м [20, 21, 22, 52, 68].

Для обеспечения такой высокой точности измерений превышений необходимо учитывать ряд условий:

- применять нивелиры с минимальными инструментальными ошибками;
- проводить дополнительную термоизоляцию нивелира с целью уменьшения ошибки за изменение угла i ;
- выполнять нивелирование на станции строго из середины;
- максимально уменьшать влияние возмущающих воздействий.

Исследованиям точности нивелирования короткими лучами при неблагоприятных внешних условиях уделялось значительное внимание [43, 61, 63, 80, 125, 133, 149, 169].

При определении деформации технологического оборудования и определении осадок действующих или строящихся тепловых электростанций на точность измерений влияет вибрация; в большей степени на результаты измерений оказывает влияние низкочастотная вибрация [61, 80, 149]. В связи с этим при выполнении нивелирования применяются различного рода

амортизационные прокладки, которые изготавливаются, в основном, из войлока или из мягкой резины и устанавливаются под ножки штатива.

Для ослабления влияния вибрации на систему «штатив-прибор» автор работы [125] предлагает использовать динамический гаситель, который крепится на зрительную трубу нивелира и позволяет понизить виброактивность данной системы. Однако, применение данного гасителя колебаний затруднено тем, что наблюдатель, выполняя измерения, при прикосновении к прибору изменяет величину массы системы «штатив-прибор», вследствие чего снова возникает колебание изображения и увеличивается величина ошибки «взгляда». Для уменьшения величины ошибки «взгляда» автор работы [149] рекомендует применять специальную методику визирования на штрих рейки с использованием специальных визирных марок и реек с клиновидными штрихами [62, 149].

В работах [64, 65] выполнен анализ источников ошибок, возникающих при выполнении измерений нивелирами с компенсаторами в условиях воздействия магнитных полей. По результатам выполненных исследований авторы делают вывод о том, что изменение положения визирного луча, обусловленное притяжением чувствительного элемента, не устраняется методикой измерений.

В настоящее время при выполнении работ по определению осадок и деформаций стали применять цифровые нивелиры. Однако, для выполнения высокоточного нивелирования короткими лучами этими нивелирами необходимо учитывать конструктивные особенности системы «цифровой нивелир-штрихкодированная рейка» [26, 140]. Важной особенностью данной системы является возможность измерения на станции только одного превышения, так как штрихкодированная рейка имеет только одну шкалу. В связи с этим для повышения точности и надежности измерений рекомендуется выполнять нивелирование [140, 168] при двух горизонтах. Для сокращения времени нахождения на станции при нивелировании двумя горизонтами, предлагается менять высоту прибора не ножками штатива, а только производить переустановку нивелира по круглому уровню подъемными винтами.

Другой особенностью этой системы является невозможность взятия отсчета по штрихкодовой рейке в условиях значительного влияния вибрации и наличия на пути визирного луча источников освещения [56, 104]. При наличии значительной вибрации применение амортизационных подкладок также не всегда позволяет взять отсчет по штрихкодовой рейке [17, 55, 56].

При наличии на пути визирного луча источников освещения происходит засветка прибора с зарядовой связью (ПЗС) линейки. В этом случае приходится выбирать нивелирную станцию таким образом, чтобы визирный луч цифрового нивелира попадал на штрихкодую рейку без наличия посторонних засветок. Это приводит к увеличению времени выполнения измерений [17].

И, наконец, для обеспечения взятия отсчета по штрихкодовой рейке необходимым условием является наличие видимого участка длиной не менее 320 мм. При выполнении нивелирования в условиях наличия большого количества труб и строительных конструкций выполнение этого требования сопряжено со значительными трудностями [145, 146].

Из выполненного анализа можно сделать вывод, что метод геометрического нивелирования короткими лучами и в настоящее время является основным при определении деформационного состояния инженерных сооружений и оборудования [41, 42].

К недостаткам геометрического нивелирования относится невозможность выполнения измерений при наличии радиации, сильных электромагнитных и температурных полей. В этих случаях может применяться гидростатическое и гидродинамическое нивелирование.

Гидростатическое и гидродинамическое нивелирование. Метод гидростатического нивелирования применяется в тех случаях, когда невозможно применить метод геометрического нивелирования короткими лучами в силу каких-либо причин или в случаях, когда необходимо получить более высокую точность измерений. Данный метод позволяет также создать автоматизированные стационарные гидростатические системы. К основным недостаткам гидростатического нивелирования относятся сравнительно небольшой предел

измерения превышений и значительное влияние изменения температуры применяемой жидкости [114].

Гидродинамическое нивелирование во многом решает проблемы гидростатического нивелирования: увеличивает предел работы измерительных головок до 300 мм, значительно упрощает их конструкцию и позволяет за счет перемешивания используемой жидкости уменьшить влияние температуры на результаты измерений. В гидродинамическом методе нивелирования отсчетной поверхностью является уровень жидкости, перемещающийся в сообщающихся сосудах вверх – вниз [25]. Теоретические и конструкторские разработки в этой области изложены в трудах многих авторов [1, 2, 3, 4, 5, 7, 25]. Основные исследования способа были проведены в МИИГАиК, ГСПИ, Ереванском политехническом институте (ЕрПИ), Гидропроекте [1, 2, 6, 107]. Были разработаны теоретические основы гидростатического и гидродинамического нивелирования, изготовлены и внедрены в производство переносные гидронивелиры и стационарные системы, выполнены исследования основных источников ошибок гидронивелирования.

Так, в ЕрПИ была разработана система СГДН - 10Д [7]. Система состоит из блока управления и десяти головок гидронивелиров, которые соединены между собой шлангами. Точность измерения данной системой составляет от 0,05 до 0,5 мм. Гидродинамический нивелир, предложенный автором работы [2, 3], позволяет проводить измерение точек, расположенных на разных горизонтах. Он состоит из бака и сосудов, имеющих глухие перегородки, которые создают несколько отдельных (автономных) гидродинамических систем, находящихся друг над другом. Поэтому, этот гидронивелир применяется для измерения точек, находящихся на одной вертикали.

Автором работы [4, 5, 143] предлагается конструкция гидронивелира, состоящая из автономных гидродинамических систем, которые можно установить на разные высотные горизонты. Данный гидронивелир позволяет производить измерения точек с разностью высот от одного до нескольких десятков метров.

Автором работы [143] разработана двойная гидродинамическая система, состоящая из контролируемых и измерительных головок, каждая из которых разделена перегородками на два одинаковых отсека, в которых находятся штоки-электроды, подсоединенные к блоку индикации. В донной части перегородки имеется отверстие для перекачивания жидкости. Контролируемые и измерительные головки соединяются друг с другом при помощи шлангов: жидкостным и двумя воздушными. Измерительная головка состоит из двух устройств регистрации уровня жидкости. При измерении жидкость не перемещается по соединительным шлангам, а только перераспределяется между отсеками, что позволяет исключить ошибку, вызванную наклоном пьезометрической линии. Разность уровней жидкости в момент касания жидкости штоков-электродов дает искомое превышение между головками. Данная гидродинамическая система отличается от других способов простотой конструкции, обеспечивая при этом более высокую точность измерений, а также позволяет контролировать результаты измерений, т. к. превышения измеряются дважды.

Были проведены исследования точности нивелирования двойной гидродинамической системой [5, 143], в результате которых установлено, что точность определения осадок данной системой на всем диапазоне измерений не ниже 0,03 мм, а точность контактирования иглы измерительного штока с уровнем жидкости равна 0,01 мм. Обширные исследования по разработке гидронивелирования позволили создать производственные образцы гидросистем с автоматизированной передачей информации, которые применяются на ряде ответственных объектов.

Модернизацией этого способа явилась разработка радиальной гидродинамической системы [4, 139], в которой имеется всего одна измерительная головка и несколько соединенных с ней жидкостными шлангами контролируемых головок, что повышает точность измерений и упрощает конструкцию.

Дальнейшие исследования в области гидронивелирования привели к разработке гидродинамического способа нивелирования перетеканием жидкости в одну измерительную головку [143]. Сущность этого способа заключается в

том, что после выравнивания уровня жидкости в контролируемых измерительных головках жидкость под давлением перетекает поочередно из каждой контролируемой головки в измерительную.

К настоящему времени метод гидростатического нивелирования разработан достаточно хорошо. Выполнены разработки и исследования конструкций гидростатических систем, исследованы основные источники ошибок и найдены способы их устранения [114].

К достоинствам данного способа можно отнести следующее:

- отсутствуют отсчетные устройства в контролируемых головках;
- регистрация уровня жидкости производится в единственной на всю систему измерительной головке, что повышает надежность и упрощает систему;
- регистрация уровня жидкости производится при ее спокойном состоянии, что повышает точность измерения;
- перетекание жидкости в сосудах приводит к ее перемешиванию и, как следствие, к ослаблению влияния температуры на результат измерений (перед каждым измерением необходимо перекачивать несколько раз жидкость между головками).

Тригонометрическое нивелирование короткими лучами. Известно, что метод тригонометрического нивелирования несколько ниже по точности геометрического нивелирования и не всегда обеспечивает требуемую точность определения осадок зданий и сооружений. В связи с этим тригонометрическое нивелирование короткими лучами получило меньшее распространение по сравнению с методом геометрического нивелирования и применяется в основном при определении отметок точек или осадок оснований зданий, расположенных в труднодоступных местах.

Первые исследования тригонометрического нивелирования были проведены в ЦНИИГАиК, затем были продолжены в МИИГАиК [87, 88, 89] и других организациях. В результате исследований были разработаны практические рекомендации для применения данного метода. Особое внимание было уделено повышению точности измерений, которая может быть достигнута

путем повышения точности измерения углов наклона, учета влияния рефракции, уменьшения расстояний до визирной цели.

Повышение точности измерений углов наклона достигается путем применения специальных методик наблюдений. Однако в первых исследованиях [87] отмечается, что ошибки делений вертикальных кругов высокоточных теодолитов могут достигать 3", вследствие чего средняя квадратическая ошибка измерения угла наклона не будет удовлетворять необходимым требованиям. Методика определения этих ошибок достаточно трудна и не дает возможности точно определять поправки в углы наклона. Поэтому автором [91] было рекомендовано выполнять наблюдения одним теодолитом во всех циклах измерений, что позволяет в разностях вертикальных углов исключить данную ошибку.

Для ослабления влияния вертикальной рефракции следует стремиться к тому, чтобы измерения выполнялись примерно в тех же условиях, в каких они были выполнены в предыдущих циклах. Существенно ослабить влияние рефракции позволяет методика нивелирования из середины.

В работе [91] авторами были проведены экспериментальные исследования точности определения больших превышений ($h > 3$ м) методом тригонометрического нивелирования короткими лучами. По результатам выполненных исследований авторы пришли к выводу, что с уменьшением зенитных расстояний увеличивается ошибка их определения. Объясняется это некоторыми неудобствами визирования при низком расположении окуляра зрительной трубы. По результатам исследований метод тригонометрического нивелирования короткими лучами визирования при определении больших превышений была получена средняя квадратическая ошибка измерений превышения, равная 0,13 мм.

Недостатком метода тригонометрического нивелирования при определении больших превышений на станции была необходимость однообразной установки теодолита, как в плане, так и по высоте для каждого цикла наблюдений. Для исключения этого недостатка при измерении расстояния до точек визирования в труднодоступных местах применялась методика, основанная на измерении зенитных расстояний или углов наклона.

Поэтому автором использовалась двух-штриховая осадочная марка с постоянной базой между штрихами, которая наносилась на исследуемый объект контрастным красителем. Зенитные расстояния измерялись по верхнему и нижнему штриху марки одним приемом. По результатам измерений вычислялись превышения h нижней марки относительно горизонта теодолита по формуле [91]

$$h = \frac{b}{\operatorname{tg} Z_H \times \operatorname{ctg} Z_B - 1}, \quad (1.1)$$

где b – база осадочной марки;

Z_H, Z_B – зенитные расстояния на нижний и верхний штрихи марки.

Автор исследований [19] для уменьшения влияния ошибок, предлагает осадочные марки устанавливать на одном уровне, близкому к среднему горизонту теодолита, что позволяет обеспечить точность определения превышений в пределах 0,5 мм при расстоянии до нее 10 м.

В нормативных документах [101, 119, 120] при наблюдении за осадками зданий, сооружений и оборудовании рекомендуется применять тригонометрическое нивелирование наряду с геометрическим и гидростатическим нивелированием. Однако в настоящее время эта методика не приводится, так как подразумевает применение оптических теодолитов.

Появление в геодезическом производстве высокоточных электронных тахеометров позволило в несколько раз увеличить производительность работ, из-за быстрого измерения расстояний включая безотражательный режим. Благодаря этому повысилась точность и мобильность тригонометрического нивелирования. Авторы работы [18] провели исследования точности измерения превышения электронными тахеометрами с помощью тахеометра 3Та5Р в лабораторных условиях. После завершения измерений разность между эталонным превышением, измеренным нивелиром НА-1, и средним значением превышения, измеренным тахеометром, не превысила 0,15 мм. Работа в производственных условиях подтвердила высокую точность измерения превышения тахеометром [13, 15, 16].

Такую же точность получили авторы работы [97]. Экспериментальным путем они пришли к выводу о том, что тригонометрическое нивелирование короткими лучами с применением высокоточных тахеометров при небольших углах наклона позволяет измерять превышение на станции с ошибкой не хуже 0,15 мм. Авторы привели классификацию разрядов нивелирования, которая в значительной степени соответствует применяемым в настоящее время разрядам геометрического нивелирования.

Измерение превышения на станции тригонометрическим нивелированием может производиться полным приемом. Такое измерение аналогично геометрическому нивелированию, выполняемому путем взятия отсчетов по основной и дополнительной шкалам. Если измерение превышения производится при одном круге лево (КЛ) или круге право (КП), то среднеквадратическое отклонение (СКО) полученного превышения на нивелирной станции при нивелировании способом из середины согласно формуле (1.2) будет равна [18]

$$m_h = m_{взгл.} \sqrt{2}, \quad (1.2)$$

где $m_{взгл.}$ – величина «ошибки взгляда» на один отражатель.

Под величиной «ошибки взгляда» будем понимать, как и при геометрическом нивелировании, суммарное влияние основных источников ошибок при выполнении однократного измерения при КЛ или при КП на один отражатель. При измерении одним приемом (КЛ и КП) СКО измеренного превышения на станции согласно формуле (1.3) будет равна

$$m_{h_{cm}} = m_{взгл.} \cdot \quad (1.3)$$

Так как измеряемое превышение на станции вычисляется по формуле

$$H = -(S_3 \sin \alpha_3 - S_{II} \sin \alpha_{II}) = S_{II} \sin \alpha_{II} - S_3 \sin \alpha_3, \quad (1.4)$$

то величина «ошибки взгляда», с учетом влияния основных источников ошибок будет равна:

$$m_{\text{взгл.}} = \sqrt{m_S^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha + m_p^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{вн}}^2 + m_{\text{шт}}^2}, \quad (1.5)$$

где m_S – СКО измерения наклонного расстояния;

m_α – СКО измерения угла наклона;

m_p – ошибка, обусловленная наклоном отражателя;

$m_{\text{виз}}$ – ошибка визирования;

$m_{\text{вн}}$ – ошибка, вызванная влиянием внешних условий;

$m_{\text{шт}}$ – ошибка, вызванная возможным вертикальным перемещением системы «штатив-тахеометр».

При строительстве второй сцены Мариинского театра в г. Санкт-Петербурге широкое применение нашел способ тригонометрического нивелирования с применением электронных тахеометров. Автор работы [19] выполнил наблюдения за осадками зданий и сооружений двумя способами: геометрическим и тригонометрическим нивелированием. Геометрическое нивелирование производилось в соответствии с требованиями [118, 119] при средней длине плеч 30 м. Тригонометрическое нивелирование выполнялось на каждой станции дважды «прямо» путем наведения зрительной трубы тахеометра на верхнюю и нижнюю отражательные марки, наклеенные на инварную полосу рейки. Таким образом, определение высоты визирования производилось с точностью 0,2 мм.

После анализа полученных измерений совместного нивелирования двумя способами подтверждена возможность использования электронных тахеометров для выполнения циклов наблюдения за осадками.

Точность тригонометрического нивелирования при одностороннем визировании можно представить выражением [18, 87]

$$m^2 = m_D^2 \sin^2 \nu + \frac{m_\nu^2}{\rho^2} D^2 \cos^2 \nu + m_i^2 + m_l^2, \quad (1.6)$$

где m_D – ошибка измерения расстояния D ;

m_ν – ошибка измерения угла наклона;

m_i – ошибка измерения высоты прибора;

m_l – ошибка измерения высоты визирования.

Ошибка измерения превышения при одностороннем визировании на две марки вычисляется по формуле

$$m' = \frac{m}{\sqrt{2}}. \quad (1.7)$$

Тогда, соответственно, инструментальная ошибка определения превышения тахеометром на станции будет равна $m_h = m$, а ошибка высотного хода, включающего n станций будет вычисляться по формуле

$$M = m\sqrt{n}. \quad (1.8)$$

Согласно результатам выполненных измерений тригонометрическое нивелирование, с использованием электронного тахеометра, может конкурировать с прецизионным геометрическим нивелированием, а также дает возможность установить дополнительные источники инструментальных ошибок и разработать способы повышения точности метода. Преимуществом этого способа является удобство организации работ и увеличении производительности работ.

Определение деформаций с помощью лазерного треккера. Лазерный треккер является высокоточным измерительным прибором, позволяющий определять координаты наблюдаемых точек в трех плоскостях с ошибкой порядка от 0,10 до 0,15 мм [154]. Принцип его работы заключается в следующем. Треккером с помощью сервопривода выполняется слежения за отражателем, а затем лазерным лучом измеряются два угла и расстояние до цели. Скорость работы порядка 5000 точек в секунду. Слежение производится в режиме реального времени, тем самым позволяя контролировать геометрические параметры как неподвижных, так и движущихся объектов. Положение точек рассчитывается программным обеспечением и сравнивается с проектными значениями. Затем производится анализ полученных результатов.

В данный прибор установлены температурные датчики, позволяющие вносить поправки в процесс измерений. В настоящее время лазерные треккеры

применяются при строительстве ответственных сооружений и оборудования (машинный зал турбоагрегата, контрольно измерительной аппаратуры (КИА), валопроводы). Их располагают относительно реперов внутри здания, а сами отражатели устанавливаются на осадочные марки фундаментной плиты турбоагрегата. Таким образом, выполняется наблюдения за осадками и деформацией корпуса турбоагрегата в режиме реального времени, что необходимо, например, при пуско-наладочных работах в момент запуска турбины и основного оборудования.

1.2 Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали

Строительные конструкции и оси технологического оборудования устанавливают в вертикальное положение различными способами в зависимости от требуемой точности [46, 68, 93, 116, 127, 128, 130] с помощью нитяного отвеса, при помощи коллимационной плоскости теодолита (тахеометра), с помощью оптической и лазерной вертикали зенит-приборов, способом бокового визирования, и способом горизонтального проложения.

Применение нитяного отвеса. Точность вертикальной установки при помощи отвеса составляет в среднем около 1/1000 от высоты. Способ применяют для предварительного монтажа конструкций.

Проектирование коллимационной плоскостью (способ наклонного визирования). Наиболее часто установку и выверку осей конструкций по вертикали выполняют при помощи теодолита (тахеометра).

При выверке вертикальности конструкций производится проектирование при двух положениях круга верхней осевой точки вниз, на уровень основания (фундамента). Отклонение точки от проектного положения оси характеризует линейную величину наклона конструкции.

В угловой мере наклон равен [46, 54, 68]

$$\gamma = \frac{\Delta l}{h} \cdot \rho. \quad (1.9)$$

Таким же образом выверяют вертикальность в плоскости, перпендикулярной первой.

Основными источниками ошибок этого способа являются:

- наклон оси вращения инструмента;
- ошибки визирования;
- влияние нестворной установки теодолита;
- влияние внешних условий.

Влияние наклона оси вращения инструмента является наиболее существенным источником ошибок, не устраняемым проектированием при двух кругах. Для производственных условий можно принять, что отклонение пузырька уровня от нуля-пункта при выверках не будет превышать в среднем половины деления, т. е. наклон оси вращения инструмента и, следовательно, проектируемой линии конструкции составит не более $0,5 \cdot \tau$. Тогда линейная величина наклона при высоте конструкции h равна [46, 54, 127, 154]

$$m_H = \frac{0,5 \cdot \tau}{\rho} \cdot h, \quad (1.10)$$

где τ – цена деления уровня.

Ошибка визирования при проектировании равна

$$m_B'' = \frac{20'' \sqrt{2}}{\nu}, \quad (1.11)$$

а в линейной мере

$$m_B = \frac{20'' \sqrt{2}}{\nu} \cdot \frac{S}{\rho}, \quad (1.12)$$

где S – наклонная расстояние от тахеометра до верхней точки конструкции;

ν – увеличение тахеометра.

Если нижняя осевая точка и верхняя выверяемая находятся на разных вертикалях, то в этом случае тахеометр необходимо устанавливать в створе выверяемой оси.

При вертикальном проектировании осей визирный луч часто проходит вблизи металлических и железобетонных конструкций. Поэтому большое влияние на точность работ, особенно на открытых площадках, оказывает боковая рефракция. Поэтому высокоточную выверку конструкций необходимо проводить в такое время, когда это влияние минимально. Общая суммарная ошибка построения коллимационной плоскости тахеометра будет равна [150, 153].

$$m_{II}^2 = m_H^2 + m_B^2 + m_{\Delta}^2 + m_{BH}^2. \quad (1.13)$$

Способ оптической вертикали. При строительстве высотных зданий и высоких сооружений для передачи плановых координат с одного монтажного горизонта на другой и для выверки конструкций по вертикали применяют оптические и лазерные приборы вертикального проектирования – зенит-прибор [46, 128]. Центрирование прибора производится при помощи оптического отвеса, вмонтированного в трегер, или переносного лотаппарата, который вставляется в подставку. При высоте до 100 м средняя квадратическая ошибка построения вертикали составляет от 1,0 до 2,0 мм. Все зенит-приборы должны удовлетворять основному требованию: вертикальная часть линии визирования должна совпадать с осью вращения прибора.

Для построения зенит-прибором оптической вертикали на выбранных направлениях в перекрытиях оставляют небольшие сквозные отверстия. После центрирования прибора на монтажном горизонте укрепляют прозрачные палетки с сеткой прямоугольных координат, по которым отсчитывают положения центра сетки нитей.

Основные ошибки способа оптической вертикали являются:

- ошибка нивелирования прибора, или приведения линии визирования в отвесное положение;
- ошибка визирования;
- ошибка центрирования;
- ошибки за влияние внешних условий наблюдений.

На точность построения оптической вертикали оказывают внешние условия наблюдений: боковая рефракция, колебания изображения, недостаточная освещенность, которые являются главным источником ошибок способа [129]. Меры ослабления влияния этих ошибок принимают исходя из конкретных условий наблюдений. Аналогичную точность дают приборы лазерного вертикального проецирования.

Способ бокового визирования (бокового нивелирования). Отличие данного способа от способа коллимационной плоскости состоит в том, что в нем применяются две рейки [46, 68, 93].

Разность отсчетов по рейке вверху и внизу колонны характеризует поперечный наклон элемента сооружения в линейной мере равной [46, 68, 153]

$$\Delta l_i = b_{H_i} - b_{B_i}, \quad (1.14)$$

а разности

$$\Delta a_i = l - b_{H_i}, \quad (1.15)$$

показывает точность плановой установки конструкций.

В этом способе выверку продольного наклона колонн вдоль ряда выполняют линейными промерами между осевыми метками в основании и верхней плоскости конструкций. При этом вертикальность начальной и конечной колонн дополнительно выверяют теодолитом (тахеометром).

Основными ошибками способа бокового визирования являются ошибки:

- построения параллельного створа;
- центрирования теодолита (тахеометра) и редукции визирной марки;
- нивелирования инструмента;
- отсчета по боковой рейке;
- влияния внешних условий.

Величина ошибки данного способа зависит в основном от наклона оси вращения теодолита и ошибки отсчета по рейкам и в среднем равна 3 мм.

Способы, основанные на применении тахеометров и спутниковых технологий. Современные тахеометры имеют функцию измерения горизонтального

проложения [31, 32, 73, 103, 141, 156, 157] и методика выполнения состоит в следующем. Тахеометр устанавливается в непосредственной близости к колонне таким образом, чтобы имелась возможность выполнить измерения по верхнему и нижнему центрам колонны в одной плоскости (рисунок 1.1).

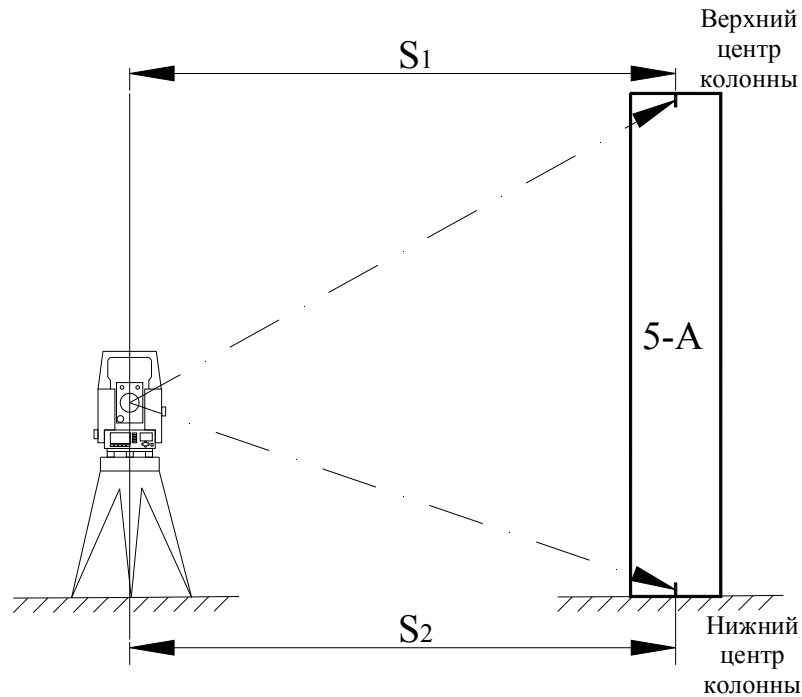


Рисунок 1.1 – Определения крена способом горизонтального проложения

После этого измеряются горизонтальные проложения s_1 и s_2 соответствующие верхнему и нижнему центрам колонны. После этого полученные значения s_1 и s_2 сравниваются между собой. Если соблюдается условие $s_1 = s_2$, то колонна будет установлена вертикально. Если же соблюдается условие $s_1 > s_2$, то верхний центр колонны отклонен по отношению к нижнему центру колонны на величину $s_1 - s_2$.

Если же соблюдается условие $s_1 < s_2$, то верхний центр колонны отклонен по отношению к нижнему центру колонны на величину $s_2 - s_1$.

После установки колонны в одной плоскости, приступают к установке в другой плоскости. Средняя квадратическая ошибка определения крена данным способом в среднем не превышает 2,0 мм.

В работах [27, 60, 141, 150, 155, 162, 163, 164] рассматривается методика определения крена (приращения крена) сооружений башенного типа с помощью

спутниковых технологий. Указывается, что средняя квадратическая ошибка определения крена данным способом в среднем не превышает от 5,0 до 7,0 мм.

1.3 Способы определения координат

До начала строительства инженерного сооружения, составляется проект с рабочими чертежами, по которым возводится данный объект. Проектная организация в большинстве случаев работает в программном продукте AutoCAD. Она представляет собой двух- и трехмерную систему автоматизированного проектирования и черчения, разработанную компанией Autodesk [161]. AutoCAD и приложения написанные на его основе, нашли широкое применение в строительстве, архитектуре, машиностроении и других отраслях промышленности. В двухмерном AutoCAD'е используются простые графические объекты, с помощью которых строятся более сложные объекты [161]. В программе представлены обширные возможности при работе со слоями, позволяющие поочередно выводить или убирать с экрана, оставлять их неизменными и также редактировать. С помощью внешних ссылок чертеж разбивается на составные файлы, которые расширяют возможности двухмерного проектирования, без профессионального навыка программирования. В версии с 2010 в AutoCAD реализована поддержка двумерного параметрического черчения [161].

Текущая версия программы (AutoCAD 2015) включает в себя полный комплексного трехмерного моделирования. AutoCAD позволяет получить высококачественную визуализацию моделей с помощью системы рендеринга mental ray [24]. Также в программе реализовано управление трёхмерной печатью (результат моделирования можно отправить на 3D-принтер) и поддержка облаков точек (позволяет работать с результатами 3D-сканирования [165, 167]). Тем не менее, следует отметить, что отсутствие трёхмерной параметризации не позволяет AutoCAD напрямую конкурировать с машиностроительными САПР среднего класса [72], такими как Inventor, SolidWorks и другими. В состав AutoCAD 2014 включена программа Inventor Fusion, реализующая технологию прямого моделирования [161].

AutoCAD позволяет использовать имеющуюся на промплощадке плановую геодезическую основу, в которой полностью представляется проектные данные. Координатную привязку осуществляется согласно расположению главных осей зданий и сооружений. Из электронной версии чертежа можно выбрать необходимые характерные точки для вынесения в натуру конструктивных элементов будущего сооружения.

Существует несколько способ выноса на местность характерных точек, заданных углов и расстояний. Этот выбор зависит от вида геодезической сети на строительной площадке.

Способ прямоугольных координат применяют, когда на территории строительной площадки геодезической основой является строительная сетка [46, 68]. Для выноса в натуру точки К (точка сооружения) по линии AD откладывают отрезок $d_1 = Y_K - Y_A$ и перпендикулярно AD строится отрезок $d_2 = X_K - X_A$ (рисунок 1.2).

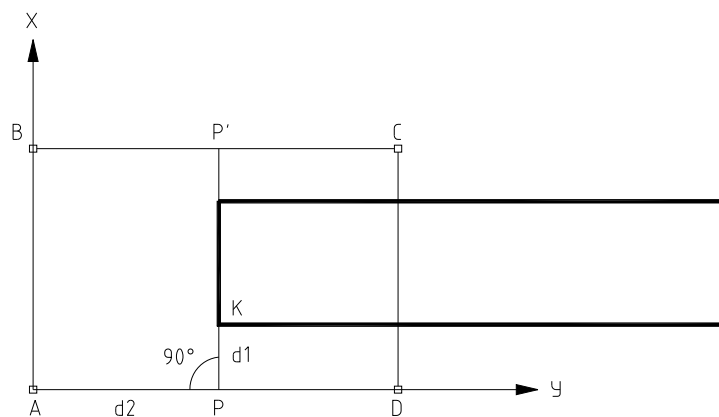


Рисунок 1.2 – Способ прямоугольных координат

Сами отрезки d_1 и d_2 строятся при помощи тахеометра. Тахеометр центрируют над точкой А, зрительная труба прибора наводится на точку D и от точки А в по створу линии AD, горизонтальным проложением откладывается d_1 и выносится точка P. Затем аналогично тахеометр устанавливается над точкой P, откладывается прямой угол APP', а по направлению PP' от точки P горизонтальным проложением d_2 , выносится точка К. Среднеквадратическая ошибка определения положения выносимой точки в среднем 3 мм.

Способ полярных координат используется при разбивке зданий и сооружений с пунктов основных тахеометрических ходов при небольшом расстоянии между исходными и выносимыми пунктами [46, 68]. Вынос точки К в натуру производится путем откладывания от линии АВ угла β_1 и по полученному направлению АК горизонтального проложения d_1 (рисунок 1.3). Контроль правильности выноса точки К можно получить от опорной точки В, отложив от линии ВА угол β_2 и по горизонтальному проложению d_2 .

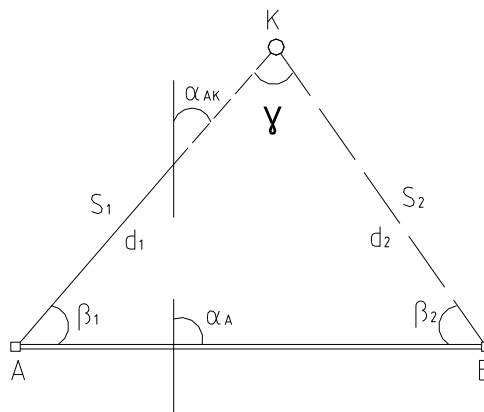


Рисунок 1.3 – Способы полярных координат, прямой угловой засечки и линейной засечки

Для уменьшения ошибки положения точки К, необходимо существенно уменьшить ошибку откладывания проектного горизонтального проложения. Это можно выполнить путем использования светоотражающих пластин или мини призм. Средняя квадратическая ошибка определения положения выносимой точки также в среднем равна от 2 до 3 мм.

Способ прямой угловой засечки. Положение проектной точки К определяется путем откладывания в опорных точках А и В от опорной линии АВ проектных углов β_1 и β_2 (рисунок 1.3). Базисом b является сторона разбивочной сетки или его измеренное значение. Проектные углы β_1 и β_2 вычисляются как разность дирекционных углов сторон, которые определяются из решения обратной геодезической задачи на плоскости по проектным координатам исходных пунктов и определяемой точки [46, 68].

Точность разбивки рассматриваемым способом зависит от ошибки самой засечки, исходных данных, центрирования тахеометра и визирной цели, фиксации определяемой точки.

Сравнивая полученные координаты с их проектными значениями, определяются поправки (редукции), по которым смещают (редуцируют) приближенно вынесенную точку К. Средне квадратическая ошибка определения положения выносимой точки в среднем равна от 3 до 5 мм.

Способ обратной линейно угловой засечки. В настоящее время данный способ широко применяется на промплощадке. Этот способ нашел широкое применение на промплощадке в связи с применением тахеометров и используется в 80 % - 90 % случаях выноса точек в натуру [54, 69, 153]. Это обусловлено тем, что он позволяет с достаточно высокой точностью (от 2 до 3 мм) определить координаты точки стояния тахеометра. Рассмотрим пример при известных координатах трех исходных пунктов. Для этого тахеометр устанавливается в точке К (рисунок 1.4), а затем в интерфейсном меню прибора выбирается программа «обратная линейно-угловая засечка». После введения данных трех исходных пунктов и производятся измерения на них. Далее необходимо вычислить координаты станции К. После этого вычисляется обратная линейно угловая засечка.

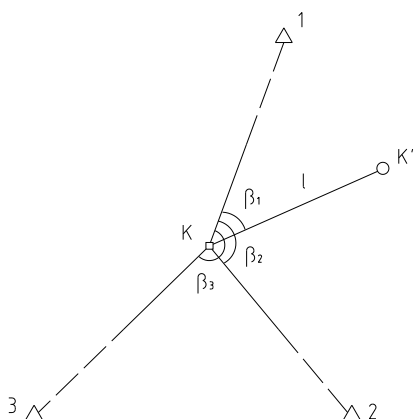


Рисунок 1.4 – Способ обратной линейно-угловой засечки

При тщательном выполнении работ средняя квадратическая ошибка определения положения станции, не превышает 2 мм. Контролем определения положения станции в точке К, может служить сравнение данных исходных

пунктов и выполненных на них измерений в режиме «съемки». В этом случае расхождение, обычно, не превосходит от 2 до 3 мм [11, 66].

После установки станции производится вынос точки K' . Для этого в режиме «вынос точки» задаются пространственные координаты K' . Затем при помощи вехи с отражающей призмой производится вынос в натуру.

Средняя квадратическая ошибка выноса в проектное положение точки способом обратной угловой засечки зависит от ошибки засечки, исходных данных, центрирования тахеометра и визирных целей, фиксации выносимой точки и редуцирования и в среднем равна от 2 до 3 мм.

Способ линейной засечки. Положение точки K на местности данным способом определяется пересечением проектных расстояний d_1 и d_2 (рисунок 1.3). Он применяется в основном для разбивки осей строительных конструкций при d_1 и d_2 меньше длины мерного прибора. В настоящее время на промплощадке в качестве мерного прибора используется два тахеометра, один из которых центрируется над точкой A , а второй над точкой B и путем совмещения расстояний d_1 и d_2 определяется точка K [46, 68, 127].

Средне квадратическая ошибка определения положения выносимой точки в среднем равна от 2 до 3 мм.

Способ пересечения створов. В данном способе положение точки K определяется при пересечении створов $T_1T'_1$ и $T_2T'_2$ (рисунок 1.5).

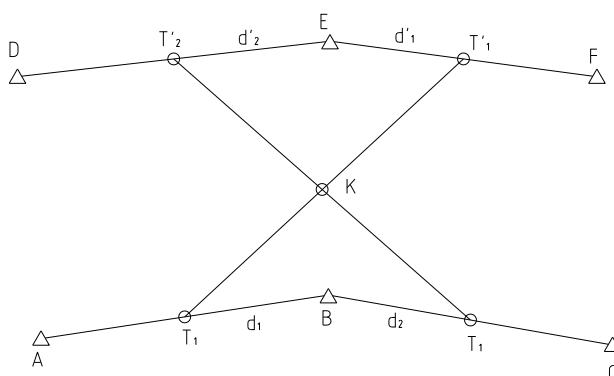


Рисунок 1.5 – Способ пересечения створов

Положение точек T_1 , T_2 определяется горизонтальными проложениями d_1 и d_2 от опорной точки E по опорным линиям BA и BC , а точек T'_1 и T'_2 – d'_1 , d'_2 от опорной точки E по линиям EF и ED . Способ пересечения створов обычно используется для выноса в натуру труднодоступных точек, когда использование других способов сильно затруднено или невозможно [54, 68, 153].

Главным преимуществом является то, что створы $T_1T'_1$ и $T_2T'_2$ и точку K легко восстановить. Тем самым обеспечивается оперативный контроль точки K в процессе строительства при минимальном объеме геодезических работ.

Средне квадратическая ошибка определения положения выносимой точки в среднем равна от 2 до 3 мм.

1.4 Анализ видов деформации и наблюдений за ними

Виды деформации и причины их возникновения. В геодезии под термином «деформация» понимается изменение пространственного положение объекта относительно его начального положения [22, 46, 68, 75].

Вследствие постоянного давления массы здания и сооружения на свое основание, грунты, находящиеся под его фундаментом, постепенно уплотняются (сжимаются) из-за этого происходит смещение в вертикальной плоскости – это осадка здания и сооружения. Также осадка может быть вызвана изменением уровня грунтовых вод оползневыми явлениями, работой вблизи тяжелых механизмов, движением транспорта, сейсмическими явлениями и т. п. Осадка имеет неравномерный характер в том случае, когда грунты под зданием или сооружением сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная. Неравномерность осадки определяется, как разность осадок ΔS между двумя точками [22, 68]

$$\Delta S_{1-2} = S_1 - S_2. \quad (1.16)$$

Это приводит к другим видам деформаций зданий и сооружений: горизонтальным смещениям, сдвигам, прогибам, перекосам, которые могут проявляться в виде трещин и даже разломов.

Сооружения башенного типа (дымовые трубы, градирни, телебашни и т. п.) испытывают крен, кручение и изгиб, вызванный неравномерным нагревом солнечных лучей или резкими порывами и давлением ветра [43]. Крен сооружения определяется как разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, или его частей вдоль выбранной оси. Величина крена, отнесенная к расстоянию l между двумя точками, называется относительным креном K [22, 46, 68, 102]

$$K=(S_2- S_1)/l. \quad (1.17)$$

Еще один вид деформации это кручение относительно вертикальной оси, которое определяется как изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения.

Для определения абсолютных осадок необходимо вычислить разность отметок, полученных на эти моменты, т. е. [22]

$$\Delta H = H_{тек} - H_{нач}, \quad (1.18)$$

где $H_{тек}$ и $H_{нач}$ – отметки на текущий и начальный моменты, соответственно.

По аналогии вычисляется осадка за промежуток времени между предыдущим и последующим периодами (циклами) наблюдений.

Среднюю осадку S_{cp} зданий и сооружений можно вычислить как среднее арифметическое из суммы осадок всех n его точек [22, 68, 89]

$$S_{cp} = \Sigma S/n. \quad (1.19)$$

Для анализа полноты деформационных процессов указывается максимальная S_{max} , и минимальная S_{min} осадка сооружения.

Горизонтальное смещение q отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат $x_{тек}$, $y_{тек}$ и $x_{нач}$, $y_{нач}$, полученных в текущем и начальном циклах наблюдений, вычисляется по следующим формулам [22, 46, 68]

$$q_x = x_{тек} - x_{нач}, \quad (1.20)$$

$$Q_y = U_{тек} - U_{нач} \quad (1.21)$$

Средняя скорость деформаций V_{cp} – это изменение величины деформации за выбранный интервал времени. Средняя скорость осадки измеряемой точки за промежуток времени t между двумя циклами i и j измерений вычисляется по формуле [22, 68],

$$V_{cp} = (S_j - S_i)/t. \quad (1.22)$$

Главной целью наблюдений за осадками и деформациями зданий и сооружений является принятие своевременных профилактических мер, обеспечивающих безопасную работу основного оборудования [22, 68]. По результатам наблюдений проверяется правильность проектных расчетов, и выявляются закономерности, позволяющие прогнозировать процесс деформации.

С целью выявления причин возникновения деформаций, для прецизионных сооружений, дополнительно организуются специальные наблюдения за изменением состояния и температуры грунтов и подземных вод, температурой тела сооружения, за изменением метеоусловий и т. п.

Точность и периодичность наблюдений за осадками и деформациями. Выбор методов и средств измерений напрямую зависит от точности и периодичности наблюдений, затраты на их производство и достоверность получаемых результатов [22, 38, 46, 68, 118, 119]. В техническом задании или нормативных документах указывается периодичность и точность, с которой необходимо выполнить инженерно-геодезические измерения [101, 119, 120].

В указанных нормативных документах требования к точности зависимости от типов грунтов характеризуются СКО 1,0; 3,0; 10,0 и 15,0 мм. На оползневых участках осадки измеряются со СКО-30 мм, а горизонтальные смещения -10 мм.

Крены сооружений башенного типа (дымовых труб, градирен, мачт, высоких башен) измеряются с точностью, зависящей от высоты H сооружения и характеризуемой величиной $0,0005 \cdot H$.

Для выбора необходимой точности измерений деформаций можно пользоваться формулой [22, 120]

$$m_{\phi} \leq 0,2 \Delta\Phi, \quad (1.23)$$

где m_{ϕ} – средняя квадратическая ошибка измерения деформации;
 $\Delta\Phi$ – величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Цикличность измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформации и других факторов. В среднем в строительный период систематические наблюдения выполняют один раз в месяц или квартал. В период эксплуатации наблюдения за осадками проводятся: в первый год эксплуатации – четыре раза в год; во второй год эксплуатации – два раза в год; в дальнейшем до стабилизации осадок фундаментов – один раз в год, а после стабилизации (1 мм в год и менее) – один раз в пять лет [101, 119, 120]. При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформации.

Критерий оценки стабилизации осадок, принятый как 1 мм в год (между циклами) определяется исходя из точности создаваемой сети нивелирных ходов, характеризующейся величиной максимальной среднеквадратической ошибки в наиболее слабом месте, как плюс 1 мм. При этом необходимо понимать, что в случае, когда между циклами прошло пять лет, а величины осадок находятся в пределах плюс 5 мм считать, что наступила их стабилизация – недопустимо, поскольку остаётся неизвестной динамика процесса, т.е. осадка могла произойти в некий короткий отрезок времени [101, 119, 120]. По этой причине, раз в пять лет выполняется не один цикл, а комплекс из двух-трех последовательных циклов нивелирования, что позволяет получить более достоверную информацию о протекающих процессах [101, 119, 120].

В зависимости от грунтов планирование периодичности наблюдений рассчитывается по формуле [46, 68, 119]

$$S_{ti} = S_{\text{дон}}(1 - e^{-Nt}). \quad (1.24)$$

Если характеристики относительной сжимаемости грунтов неизвестны, а известны только виды грунтов, то построение графиков осадок во времени можно выполнить, используя графики относительных скоростей процессов осадок и деформаций до практической стабилизации процесса.

В целом ряде случаев одновременно с определением деформационного состояния инженерного сооружения определяется состояние и применяемого оборудования. Так, при выполнении данных работ на АЭС и ТЭС производится определение величин деформации линии валопровода турбоагрегата [44, 45, 47, 71, 78, 135, 136, 138, 148, 151] и времени ее протекания. Например, деформации линии валопровода, турбоагрегата, измеренные на уровне горизонтального разъема при пусках и остановках – восемь суток, а деформации верхнего строения фундамента турбоагрегата при пусках и остановках – восемь суток. Начальный цикл измерений рекомендуется проводить после заложения фундаментов. Такой порядок выбора срока начала контроля необходим, где имеются жесткие сооружения, представляющие собой монолитную конструкцию с фундаментной плитой и когда установка деформационных марок, а также измерения по ним возможны в сжатые сроки [83, 85, 151].

Важной составляющей технологии определения деформационного состояния наблюдаемого объекта является расчет необходимой точности измерений. При расчетах точности контроля постоянных параметров существует несколько вариантов расчета [46, 68, 85]. При известных технологических или эксплуатационных допусках на геометрические параметры, характеризующие техническое состояние объекта, точность устанавливается введением понижающего коэффициента (c_n) на технические или эксплуатационные допуски. При этом понижающий коэффициент принимается по различным литературным источникам от 0,2 до 0,7 в зависимости от требуемой достоверности получения результатов контроля.

В этих случаях точность геодезического контроля выражается формулами [46, 85]

$$\Delta_{z(n)} = c_n \Delta_{\text{э}}, \quad (1.25)$$

$$\Delta_{z(n)} = c_n \Delta_{\text{тех}}, \quad (1.26)$$

$$\sigma = m_{z(n)} = c_n \Delta_{\text{э}} / 6 = c_n \Delta_{\text{тех}} / 6, \quad (1.27)$$

$$\delta_{z(n)} = c_n \delta_{\text{э}}, \quad (1.28)$$

$$\delta_{z(n)} = c_n \delta_{\text{тех}}, \quad (1.29)$$

$$\sigma = m_{z(n)} = c_n \delta_{\text{э}} / 3 = c_n \delta_{\text{тех}} / 3, \quad (1.30)$$

при условии $\Delta = 2\delta = 6\sigma = 6m$,

где $\Delta_{z(n)}$ – допуск на геодезические измерения при пассивном контроле;

$\Delta_{\text{э}}$ и $\Delta_{\text{тех}}$ – соответственно эксплуатационный и технологический допуски;

$\delta_{z(n)}$ – допускаемое отклонение на геодезические измерений при пассивном контроле;

$\delta_{\text{э}}$ и $\delta_{\text{тех}}$ – соответственно эксплуатационное и технологическое предельное отклонение;

σ – СКО результата измерения при пассивном контроле;

$m_{z(n)}$ – СКО измерения при пассивном контроле.

По окончании очередного цикла измерений необходимо выполнить оценку точности полученных результатов. Поскольку в основу всех точностных расчетов этого вида работ закладывается величина средней квадратической ошибки измерения превышения на станции m_h , то для ее получения используются следующие известные формулы [38, 53, 89]

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]_n}{n}}, \quad (1.31)$$

где d – разность значений превышений в ходах прямо и обратно или при двух горизонтах прибора;

n – число разностей; по невязкам полигонов

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[\omega_i^2]_K}{Kn}}, \quad (1.32)$$

где ω_i – невязка замкнутого i -го полигона;

K – число полигонов;

n – общее число превышений по всем полигонам,

$$m_h = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}}, \quad (1.33)$$

где $[pv^2]$ – величина, получаемая из уравнения;

r – число избыточных измерений.

Если полученных результатов удовлетворяет требуемой (заданной) точности, то приступают к анализу результатов наблюдений.

Для визуализации протекания деформаций часто составляется два графика в виде изолиний равных осадок: один – пространственно-временной, другой – пространственный. Пространственно-временной график строится по профилям и изображает деформационный процесс по всем циклам наблюдений.

Пространственный график строится в топографической системе координат в масштабе 1:500 или 1:1000, исходными данными служат осадки реперов между соответствующими двумя циклами: текущим и начальным, текущим и предшествующим и т. п.

При выполнении анализа особое внимание уделяется зданиям, у которых обнаруживаются значительные осадки, особенно неравномерные. По результатам наблюдений каждого цикла составляется краткая пояснительная записка, в которой приводятся сведения об измерениях и их предварительном анализе.

При обработке и определении абсолютных величин деформации необходимо обеспечить, чтобы плановые знаки и высотные реперы были устойчивыми. Поэтому знаки закладываются в прочные породы и места, не попадающие под основные деформационные процессы наблюдаемого сооружения.

1.5 Постановка задач исследований

На основе выполненного анализа современного состояния теории и практики инженерно-геодезических измерений произведем постановку основных задач исследований, которые будут рассмотрены в данной работе:

а) разработать схемы создания геодезического обоснования на промплощадке в условиях наличия вечной мерзлоты для геодезического обеспечения процесса строительства и эксплуатации инженерных сооружений и оборудования. Необходимость в таких исследованиях обусловлена тем, что в настоящее время началось интенсивное строительство и эксплуатация ответственных инженерных сооружений с наличием большого количества крупногабаритного оборудования в условиях вечной мерзлоты. Без наличия соответствующего высокоточного геодезического обоснования в таких условиях выполнить качественное строительство инженерных сооружений и монтаж технологического оборудования не представляется возможным.

Выполнение данного исследования преследует собой цели:

- разработки соответствующей схемы создания геодезического обоснования в условиях наличия вечной мерзлоты;

- реализации технических возможностей современных геодезических приборов при выполнении высокоточных инженерно-геодезических измерений в указанных условиях;

б) разработать технологические схемы производства инженерно-геодезических работ для обеспечения процесса строительства башенных градирен большой высоты, а также градирен с металлическим каркасом. Необходимость в таких разработках вызвана началом массового строительства башенных градирен большой, до 180 м, высоты.

Разработка таких схем необходима для обеспечения:

- геометрии возводимых железобетонных башенных градирен большой высоты;

- контроля геометрии укрупненных секций металлических градирен;

в) разработать технологические схемы производства инженерно-геодезических работ для обеспечения процесса строительства и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание» с турбоагрегатами новой конструкции. Разработка таких схем необходима для обеспечения строительства фундаментов парогазовых турбоагрегатов и монтажа их цилиндров и проточной части;

г) разработать методики и полевой стенд для проведения внеочередной метрологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка», которую можно применить непосредственно на объекте выполнения нивелирования. Необходимость в данных исследованиях обусловлена тем, что до настоящего времени метрологическая поверка данной системы производится только в специализированной метрологической лаборатории. При транспортировке цифровых нивелиров на большие расстояния часто имеют место случайные механические удары, которые могут привести к нарушению юстировки электронной схемы. Поэтому, разработка таких методик необходима для обеспечения проведения внеочередных метрологических поверок указанных систем непосредственно на объекте выполнения нивелирования;

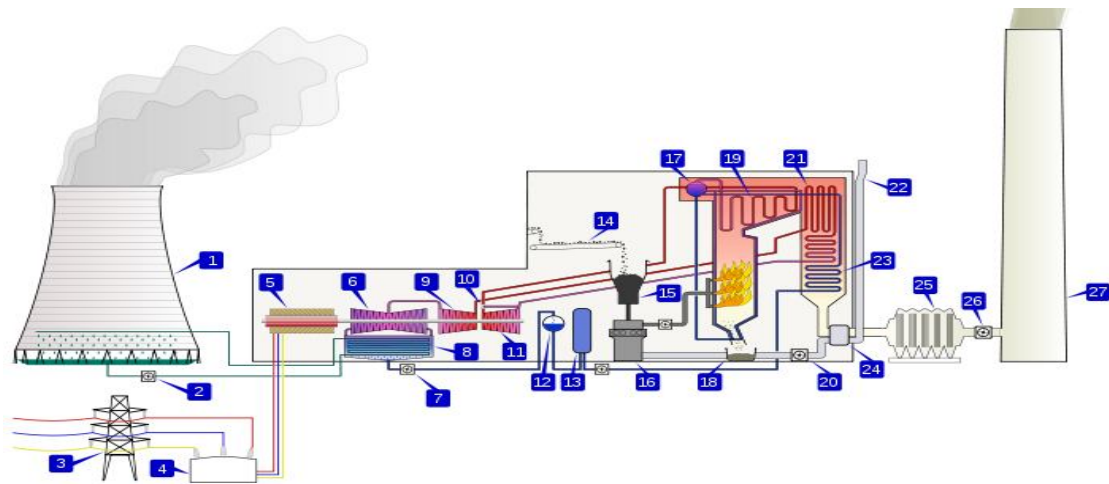
д) выполнить исследования влияния возмущающих воздействий на результаты измерений тахеометрами и системами «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» в условиях промплощадки. Необходимость в таких исследованиях обусловлена тем, что до настоящего времени не в достаточном объеме выполнены исследования надежности работы электронных систем указанных приборов в условиях влияния возмущающих воздействий;

е) провести апробацию предложенных технологических схем производства инженерно-геодезических измерений непосредственно при строительстве инженерного сооружения Няганской ГРЭС. Эта апробация позволит подтвердить правильность разработанных схем и рекомендовать их для дальнейшего применения на других объектах.

2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ «ТУРБИНА-ФУНДАМЕНТ-ОСНОВАНИЕ» (ТФО)

2.1 Состав основных геодезических работ, выполняемых при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и оборудования тепловых электростанций (ТЭС)

Тепловые электрические станции (ТЭС) являются сложным инженерным энергетическим комплексом, состоящим из зданий, сооружений, энергетического и иного оборудования (рисунок 2.1).



- 1 – градирня; 5 – турбогенератор; 6 – цилиндр низкого давления паровой турбины;
 7 – котельное оборудование; 9 – цилиндр среднего давления паровой турбины;
 11 – цилиндр высокого давления паровой турбины; 27 – дымовая труба.

Рисунок 2.1 – Технологическая схема работы ТЭС

Основными инженерными сооружениями и оборудованием ТЭС [135, 151], где при строительстве и эксплуатации которых необходимо выполнение высокоточных инженерно-геодезических работ, являются: главный корпус, градирни, 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 вовнутрь 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 применение требует проведения дальнейших 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 строящейся Няганской ГРЭС (НГРЭС).

Площадка под строительство Няганской ГРЭС площадью 302,2 га (территория строительной площадки занимает 196 000 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 и двумя скважинами было обнаружено наличие пластичномерзлого суглинка. Нормативная глубина

промерзания [38, 116] 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.

2.2 Разработка схемы создания обоснования с учетом вечномерзлых грунтов

На строительной площадке Няганской ГРЭС для создания планово-высотной основы нами рекомендуется использовать две следующие схемы [124] (рисунок 2.2).

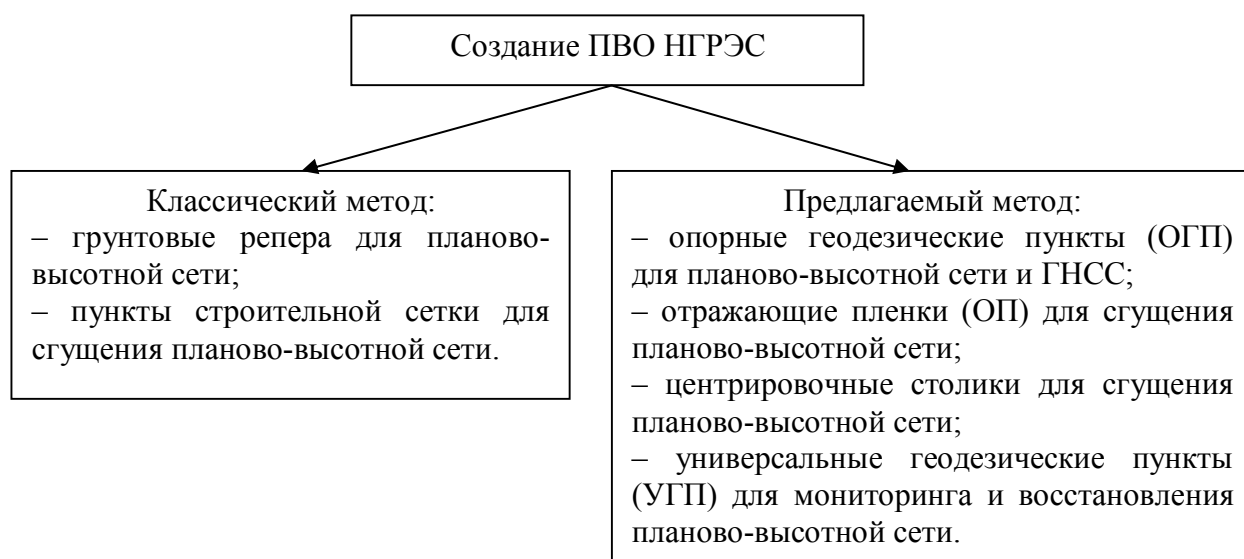


Рисунок 2.2 – Схемы создания обоснования на промплощадке Няганской ГРЭС

Первая схема основана на классическом подходе к ее созданию [33, 46, 54, 68]. В классической схем создания планово-высотной основы (ПВО), как известно, используется строительная сетка. В таблице 2.1 указаны этапы создания геодезической основы классическим методом.

На первом этапе происходит передача координат от пунктов государственной геодезической сети (ГГС) на несколько пунктов строительной сетки.

Т а б л и ц а 2.1 – Классическая схема создания геодезического обоснования

Этапы создания Геодезической основы	Методы, используемые при создании
1 Создание проекта развития плано-высотной основы	Изыскательские работы, рекогносцировка и закладка геодезических пунктов
2 Передача координат в район строительства от пунктов ГГС или местной СК	Хода полигонометрии, засечки (прямая угловая, обратная угловая и пр.), спутниковые методы
3 Развитие геодезической основы в виде строительной сетки	Спутниковые методы, хода полигонометрии, триангуляция, трилатерация, линейно-угловые сети
4 Сгущение геодезической основы – создание внешней разбивочной	Координатный способ, полярный способ, тахеометрические ходы, засечки.
5 Создание внутренней разбивочной сети	Координатный способ, полярный способ, метод вертикального проектирования

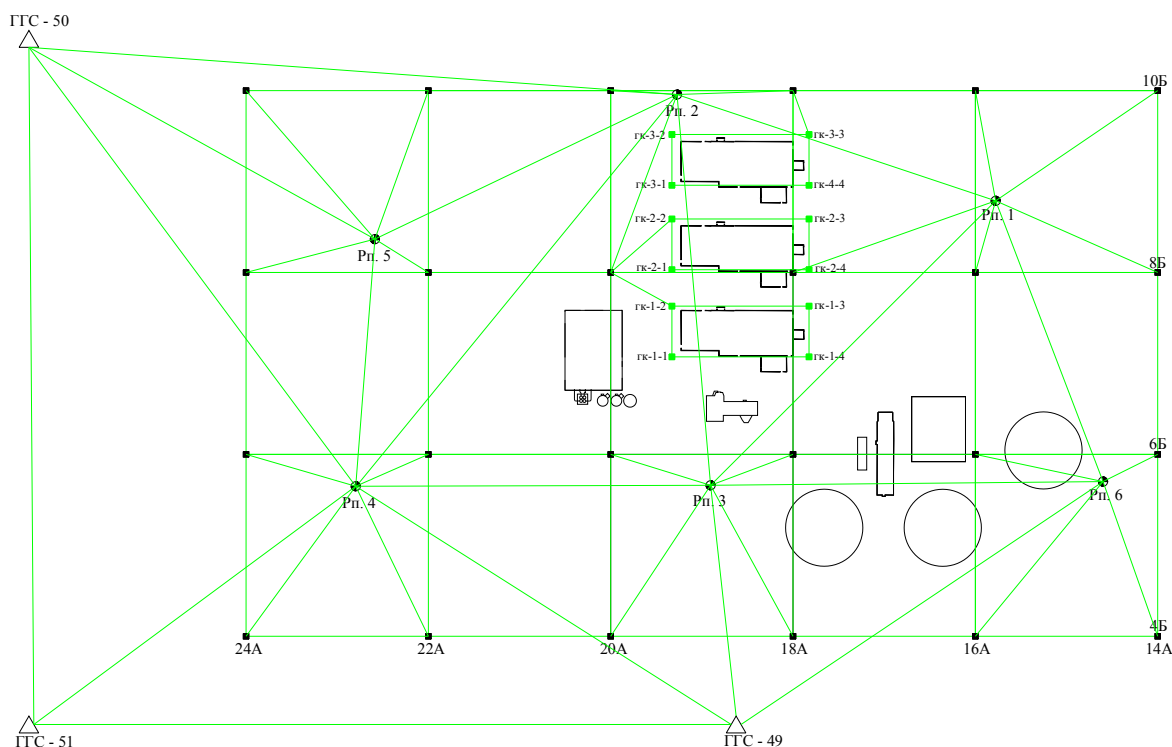
Так как ошибка взаимного положения пунктов ГГС больше, чем величина допустимой ошибки взаимного положения пунктов сетки, то на промплощадке принимается условная система координат – строительная система координат (ССК). Направление осей координат выбирается параллельно главным осям инженерных сооружений [46, 52, 68, 126, 157].

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 [10, 11, 126, 145, 156].

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 опирающиеся как минимум на три пункта ГГС.

Для сгущения плано-высотной сети используются пункты строительной сетки (ПСС) [33, 68]. Строительная сетка имеет размеры 200x200 м (рисунок 2.3). Вынос ПСС в натуру выполняется при помощи спутниковых измерений [156]. Сами пункты изготавливаются из нержавеющей металла размером 15x15 см. Заложение ПСС проводится в вершины квадратов строительной сетки. После установки ПСС

через два месяца на них передается плано-высотная основа, выполняются линейно-угловые измерения и производится их редуцирование. На каждой пластине накерняется центр, которому присваиваются пространственные координаты [124].



Примечание

- △ - Пункты ГГС;
- - Пункты строительной сетки;
- ⊕ - Грунтовые репера;
- - Пункты строительной сетки внешней сети.

Рисунок 2.3 – Схема создания геодезической основы по классической схеме

Для главного корпуса ГРЭС, дополнительно создается внешняя разбивочная основа [54, 124] (4 этап таблица 2.1). Вокруг каждого из главных корпусов закладываются по четыре - шесть пунктов ПСС (Г-1,...Г-12 на рисунке 2.3). После этого плано-высотная основа переносится на эти пункты с ошибкой взаимного положения ± 5 мм. Для обеспечения этой 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 [124].

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

Недостатками классической схемы являются:

а) выбранная конструкция глубинных 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, то устойчивость репера полностью зависит от несущей способности грунта в каждом конкретном случае;

б) использование ПСС в качестве пунктов планово-высотной основы так же не удовлетворяет геологическим условиям строительной площадки, так как в межсезонный период ПСС заметно изменяют свое плановое и высотное положение; перемещение отдельных пунктов достигают 42 мм. Это обусловлено таянием или морозным пучением грунта, близкой работой строительной техники, а зачастую и наездами этих механизмов на пункты (рисунок 2.4);

в) каждый пункт ПСС имеет только одну верхнюю точку с известными координатами.



Рисунок 2.4 – Внешний вид ПСС после наезда гусеничной техники

С учетом указанных недостатков классической схемы нами разработана и внедрена схема, основанная на многоцелевом использовании конструкций пунктов сети (таблица 2.2). Эта схема учитывает состояние грунтов и особенно тот факт, что они, в основном, вечномёрзлые [74, 81].

Т а б л и ц а 2.2 – Предлагаемая схема создания геодезической разбивочной основы

Этапы создания Геодезической основы	Методы, используемые при создании
1 Создание проекта развития плано-высотной основы	Изыскательские работы, рекогносцировка и закладка геодезических пунктов
2 Передача координат на промплощадку от пунктов ГГС или местной СК на опорные или универсальные геодезические пункты (ОГП, УГП)	Хода полигонометрии, засечки (прямая угловая, обратная угловая и пр.), спутниковые методы

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 плано-высотной геодезической основы [15, 94].

На втором этапе производится создание геодезического обоснования на промплощадке. Для обеспечения надежной и долговечной плано-высотной основы площадки строительства ГРЭС предлагается использовать разработанные нами опорные геодезические пункты (ОГП) и универсальные геодезические пункты (УГП) [124, 145].

Рассмотрим схему конструкции ОГП, которая представлена на рисунке 2.5. Она представляет собой стандартную железобетонную сваю длиной 12 м. Высота такой сваи после установки должна быть выше планируемой вертикальной планировки благоустройства территории примерно от 1,0 до 1,3 м.

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

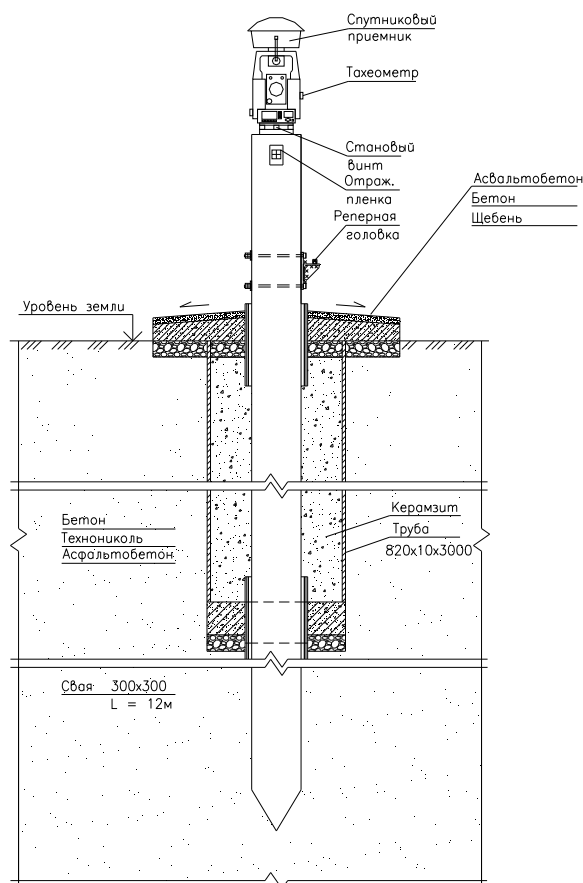


Рисунок 2.5 – Схема опорного геодезического пункта

Затем под установку обсадной трубы вокруг сваи диаметром 0,6 м пробуривается скважина глубиной 3,2 м. Дно скважины утрамбовывается, и заливается бетоном толщиной 50 мм. Затем на бетон устанавливается обсадная труба диаметром 0,5 м и длиной 3 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.

Сверху сваи устанавливается столик размером 200x200 мм со становым 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 керном наносится перекрестие и затем, при необходимости, новая отражающая пластина, после совмещения ее краев с начерченными линиями, приклеивается. Непосредственно у земли сооружается реперная головка, на которую будет передаваться отметка от репера.

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 (рисунок 2.6).

Как и в первой схеме на промплощадке принимается условная система координат. Направление осей координат также выбирается параллельно главным осям инженерных сооружений [124].

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

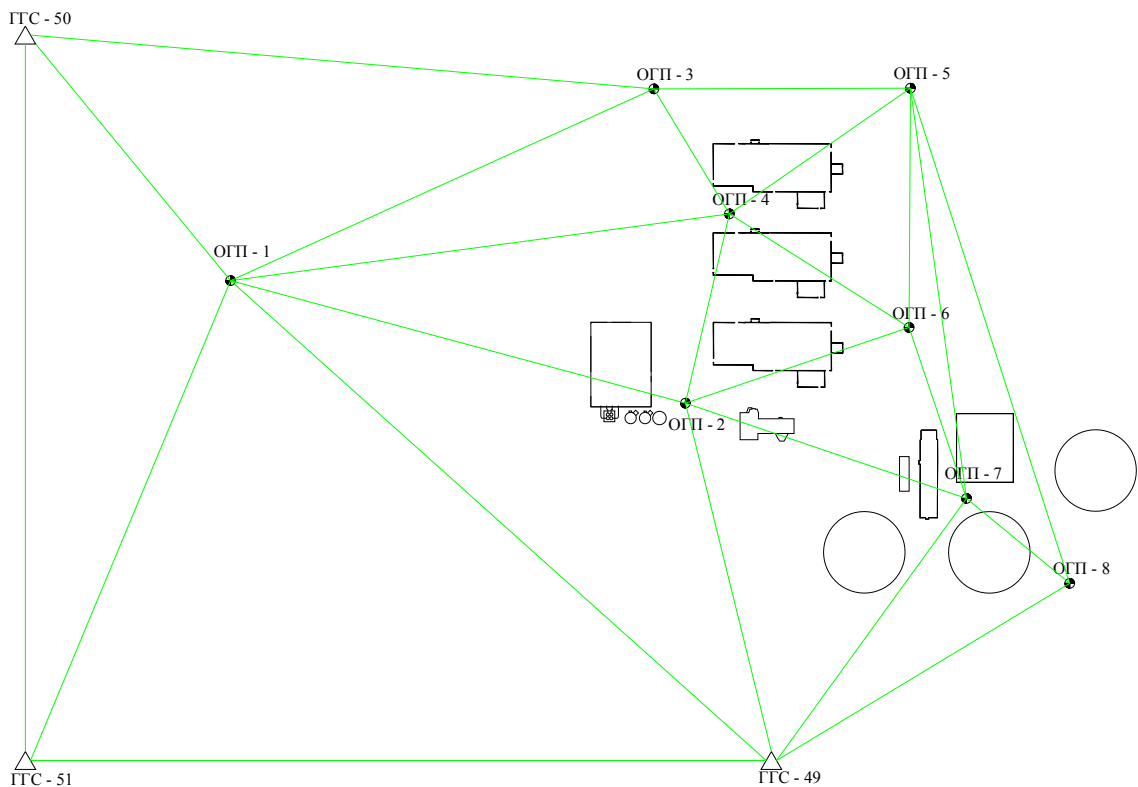


Рисунок 2.6 – Схема создания обоснования с применением ОГП

Таким образом, предлагаемая конструкция опорного геодезического пункта позволяет производить сгущение и разбивочные работы спутниковыми, линейно-угловыми и высотными измерениями [14, 16, 124].

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 [124].

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.

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.

Однако в процессе строительных работ в условиях промплощадки иногда все же, происходит закрытие видимости между ОГП (снежными сугробами, заборами, поставляемым оборудованием и т. д.). В связи с этим, нами была доработана конструкция ОГП путем наращивания высоты пункта и поднятия его на высоту от 3,5 до 4,0 м от земли (рисунок 2.7).

Отличие данного пункта от рекомендуемой в работе [76] состоит в том, что он позволяет производить измерения длительное время практически в любую погоду.

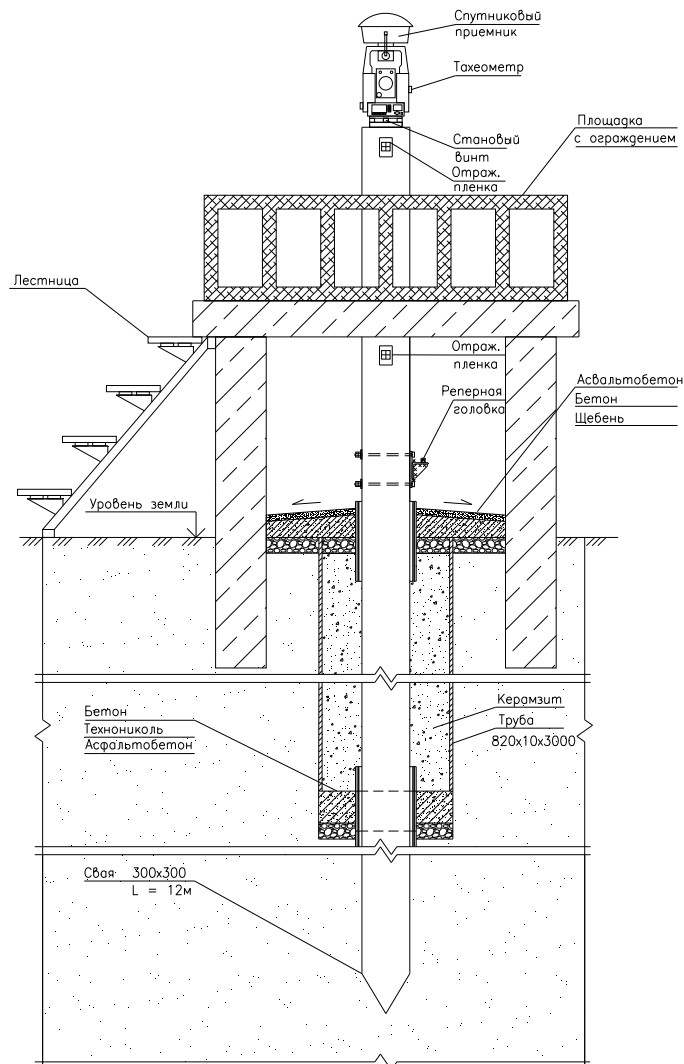


Рисунок 2.7 – Схема универсального геодезического пункта

Целью создания данного пункта является:

- обеспечение возможности производить геодезические измерения для значительной части территории промплощадки;
- обеспечение применения тахеометра с принудительным центрированием;
- возможность использования спутниковых измерений для контроля планового положения пунктов ОГП;
- возможность совместного применения тахеометра и спутникового приемника (например, Leica TPS 1200+);
- возможность применения его для решения обратной линейно-угловой засечки;
- возможность применения его в качестве высотного репера для наблюдения за осадками.

Универсальный геодезический пункт также представляет собой железобетонную сваю длиной 12 м (рисунок 2.7), высота верхней части, которой должна быть выше планируемой вертикальной планировки благоустройства территории примерно от 3,5 до 4,0 м.

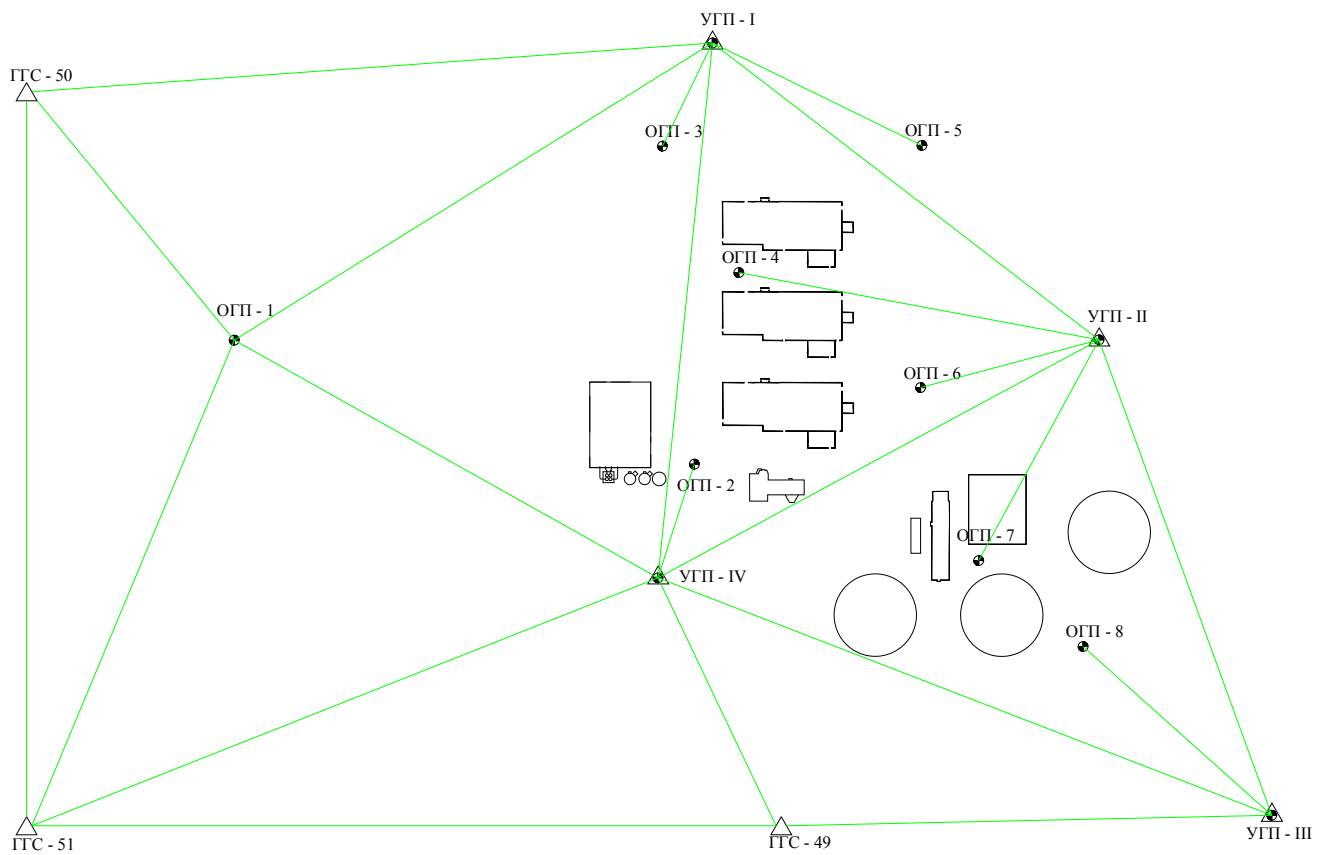
Место под установку УГП выбирается в удалении от всех зданий, сооружений и подземных коммуникаций [15]. Это необходимо для того, чтобы обеспечить исключение влияния осадочной воронки, а также уничтожения при изменении проекта и проезда многотонной техники.

Универсальный геодезический пункт может быть установлен на любом этапе строительства. Его особенностью является то, что он позволяет вести измерения на высоте от 3,5 до 4,0 м над землей, вследствие чего повышается обзор для наблюдателя. На верху сваи находится столик со станковым винтом, обеспечивающий принудительное центрирование прибора. Отражающие пленки расположены в два яруса, что позволит расширить диапазон места выбора стоянки тахеометра. С помощью УГП своевременно производится мониторинг

ОГП, и в случае уничтожения или наезда техники способствует их восстановлению.

На перилах приваривается крепежи для установки геодезического зонта. Наверху сваи, устанавливается столик размером 200x200 мм со станковым винтом. На каждой стороне сваи, в два яруса (низ и верх) размещаются металлические пластины прямоугольной формы и приклеиваются отражающие пленки (ОП-90).

Предлагаемая схема создания сети на промплощадке с помощью УГП приведена на рисунке 2.8.



Примечание





-  - Пункты ГГС;
-  - Опорные геодезические пункты;
-  - Базовая линия;
-  - Универсальный геодезический пункт.

Рисунок 2.8 – Схема размещения УГП на территории ГРЭС

2.3 Разработка схемы создания разбивочной основы

После создания обоснования на промплощадке необходимо выполнить сгущение геодезической основы с созданием внешней разбивочной сети. Для такого сгущения нами предлагается использовать два способа. Первый способ заключается в использовании в качестве пунктов сети отражающих пленок, а второй – в использовании центрировочных столиков.

Автором работ [15, 16] приводится положительный опыт применения отражающих пленок в качестве пунктов сети при реконструкции инженерного сооружения. Применительно к строительству и дальнейшей эксплуатации ТЭС вопрос применения отражающих пленок в значительной степени связан с их частым уничтожением. Поэтому, при установке пленок должна учитываться возможность их восстановления.

Т а б л и ц а 2.3 – Предлагаемая схема создания геодезической разбивочной основы

Этапы создания Геодезической основы	Методы, используемые при создании
1 Сгущение геодезической основы – создание внешней разбивочной сети с помощью центрировочных столиков (ЦС) и отражающих пленок (ОП) или отражателей	Полярных координат, координатный способ тахеометрические ходы, засечки (прямая угловая, обратная угловая и пр.).
2 Создание внутренней разбивочной сети с помощью отражающих пленок (ОП)	Полярных координат, координатный способ, засечки.

Установка отражающих пленок может производиться на любые стабильные строительные конструкции, такие как эстакады, колонны, стены зданий и сооружений. При выборе места установки пленки необходимо учитывать возможность закрытия на них видимости, как в процессе строительства, так и эксплуатации [124]. В связи с тем, что создание разбивочной основы будет производиться с применением тахеометров наклонными лучами, то имеется возможность пункты сети располагать на разных уровнях, а также на двух

горизонтах (рисунок 2.9). Это позволяет уменьшить вероятность их уничтожения и повысить продвиг работ при создании сети.

Также для обеспечения возможности восстановления поврежденных отражающих пленок на металлической колонне или на гладкой бетонной стене керном наносится перекрестие и затем, при необходимости, новая отражающая пластина, после совмещения ее краев с начерченными линиями, приклеивается.

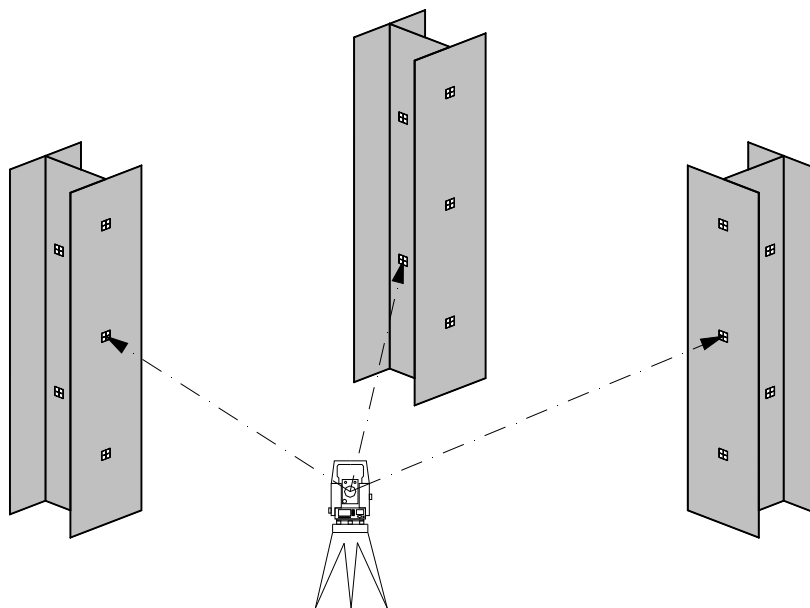


Рисунок 2.9 – Схема установки ОП

После этого с ОПП на отражающие пленки переносится геодезическое обоснование. Из выполненных исследований [51, 146] следует, что при определении пространственных координат отражающих пленок способом прямой угловой засечки или полярных координат их ошибка равна 2,0 мм (при $m_\beta = 1''$, $m_s = 2$ мм, $D < 150$ м). Если определяемые отражающая пленка находятся на расстоянии в более 150 м от ОПП, то можно определять их координаты с одного штатива или проложить замкнутый тахеометрический ход с использованием трех штативов с отражателями, установленные на триггерах.

При работе тахеометра в безотражательном режиме ошибка измерения расстояний зависит от угла падения визирного луча на отражающую поверхность [77]. Если угол падения визирного луча на стандартную

строительную поверхность находится в пределах от 0° до 40° , то ошибка измерения расстояния не превысит заявленной точности [77]. При этом наблюдается закономерность: по мере увеличения расстояния от тахеометра до отражающей пленки, предельный угол падения визирного луча стремится к 0° . Например, при расстоянии в 100 м от тахеометра до отражающей пленки размером 50x50 мм, предельный угол падения составляет $\approx 30^\circ$ [15].

В условиях наличия вечномёрзлых грунтов сооружения, на которых наклеены пленочные отражатели, из-за сезонных изменений температуры грунтов, а также осадок, изменяют своего положения в пространстве. Поэтому нами рекомендуется периодически проводить переопределение координат отражающих пленок с надежных грунтовых центров (рисунок 2.7, 2.8).

При втором способе сгущение геодезической основы нами рекомендуется [74] использовать центрировочные столики (рисунок 2.10). Их использование обосновано тем, что не всегда можно на промплощадке разместить ОГП, особенно в непосредственной близости от строящегося сооружения.



Рисунок 2.10 – Внешний вид центрировочного столика

Для установки центрировочных столиков выбираются стабильные строительные конструкции. Такими конструкциями являются эстакады технологических трубопроводов, так как они имеют надежную конструкцию. При их возведении используются свайные фундаменты и под каждую колонну закладываются две пары свай. Эти центрировочные столики [74] на колоннах

Вторым этапом (таблица 2.3) производства геодезических работ является развитие внутрицеховой разбивочной сети для обеспечения монтажа технологического оборудования. Она создается для обеспечения взаимной технологической и монтажной увязки комплексов агрегатов, размещаемых внутри здания. Относительные ошибки взаимного положения пунктов внутрицеховой сети не должны превышать 1:15000-1:25000 [130]. Тогда при максимальном расстоянии между пунктами внутрицеховой сети в главном корпусе электростанции, равном 100 м, предельная ошибка их взаимного положения не превышает 4,0 мм.

Для создания внутрицеховой разбивочной сети используются отражающие пленки. При создании данной сети в главном корпусе Няганской ГРЭС отражающие пленки размещаются на каждой колонне несущего каркаса здания. Определение плано-высотного положения установленных отражающих пленок производится после завершения строительно-монтажных работ по установке ферм, балок и связей. Последовательность выполнения работ по созданию цеховой геодезической сети нами рекомендуется производить по следующей схеме [124]. Сначала вовнутрь сооружения передаются координаты от пунктов внешней сети в системе координат промплощадки, а затем производится создание сети внутри здания.

Для этого внутри здания выбираются места установки тахеометра с таким расчетом, чтобы из каждой станции было видно три-четыре пункта внешней сети (рисунок 2.12). После этого из решения обратной линейно-угловой засечки определяются координаты и ориентировка тахеометрической станции. Для повышения точности и надежности определения координат станции измерения производятся не менее двух раз. Необходимо отметить, что с учетом влияния перемещения пунктов внешней сети ошибка определения координат тахеометрических станций будет достигать от 2 до 3 мм. После определения координат станции производится координирование отражающих пленок, закрепленных колоннах, которые имеют с визирным лучом угол меньше 40° . Далее тахеометр поочередно переносят по территории главного корпуса для

координирования всех оставшихся отражающих пленок на колоннах. Для контроля измерения повторяют несколько раз, расхождения координат не должно превышать от 2 до 3 мм.

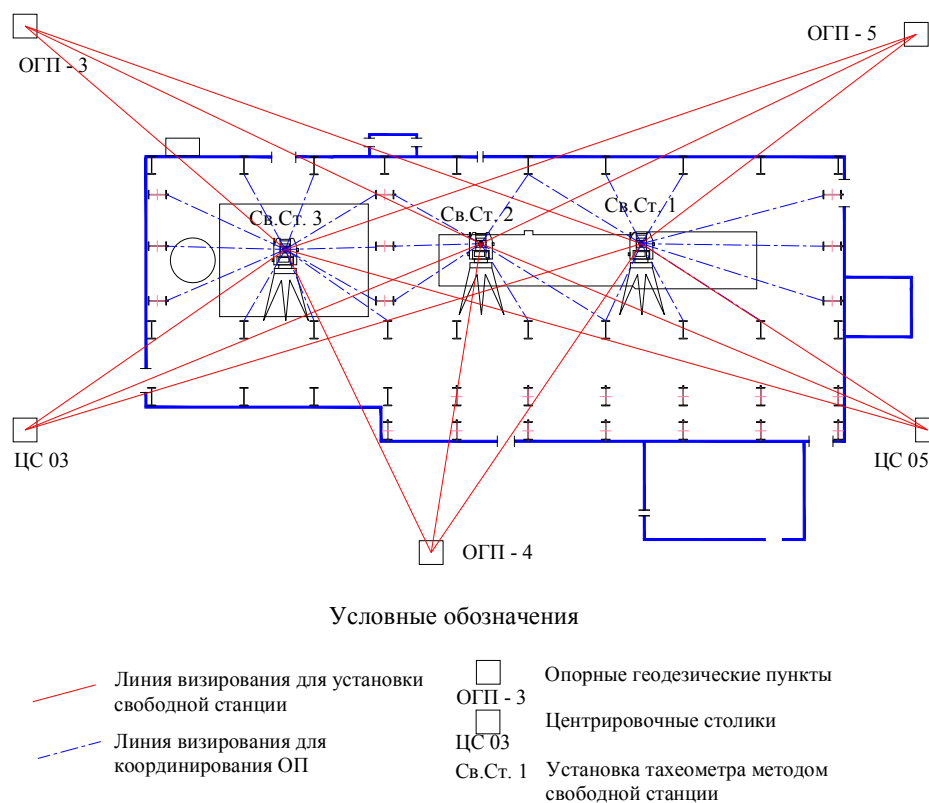


Рисунок 2.12 – Схема создания внутрицеховой разбивочной сети

Кроме развития и сгущения сети на промплощадке важным фактором, влияющим на качество проведения разбивочных работ, оказывает нестабильность положения заложенных пунктов сети [14].

2.4 Разработка методики, определения степени стабильности пунктов обоснования и разбивочной сети

В настоящее время существует и широко применяется методика производства геодезических работ при строительстве зданий и сооружений и оборудования промышленных предприятий, в том числе и ТЭС [130, 135]. Однако она применяется для условий сезонного промерзания грунтов, когда пункты обоснования незначительно изменяют свое положение в процессе

строительства. Применительно же к условиям наличия вечномёрзлых грунтов из-за постоянного выпучивания пунктов обоснования возникает необходимость в постоянном контроле их стабильности положения с последующей корректировкой системы координат промплощадки, а также элементов разбивочных работ. Поэтому выполнение геодезических работ в таких условиях должно выполняться в следующей последовательности «контроль стабильности ПВО-производство разбивочных работ». Особенно данная последовательность должна соблюдаться в периоды «зима-весна» и «осень-зима», когда выпучивание грунта, а, следовательно, и перемещение пунктов обоснования на промплощадке максимальное.

К настоящему времени способы определения степени стабильности пунктов по высоте достаточно хорошо разработаны и широко применяются [30, 38, 81]. Применительно к определению степени стабильности пунктов в плановом положении данный вопрос требует дальнейшего исследования. Поэтому нами применительно к условиям наличия вечномёрзлых грунтов рекомендуется использовать следующие способы определения стабильности пунктов:

- путем применения ГНСС технологий;
- путем решения обратных линейно-угловых засечек способом «во всех комбинациях»;
- способом координат (полярных координат);
- комбинированным способом.

Данные способы нами были применены при строительстве первой очереди Няганской ГРЭС.

Первый способ можно применять в тех случаях, когда возможно применение ГНСС технологий без влияния наличия возмущающих факторов к которым, в первую очередь, можно отнести наличие вблизи пунктов обоснования линий ЛЭП, а также наличие многопутности сигнала от уже возведенных сооружений. Для этого, например, положение пунктов ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-9 (рисунок 2.13) в режиме «статика» определяется относительно одного или трех пунктов ГГС (пунктов 50, 51 и 49) с ошибкой от 3,0 до 5,0 мм.

Если расхождение координат пунктов ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-9 предыдущего и настоящего циклов не будет превышать от 4,0 до 5,0 мм, то можно считать, что указанные пункты стабильны. Этот допуск нами обоснован тем, что согласно требованиям СНиП ошибка во взаимном положении пунктов обоснования не должна превышать $1:10000 \cdot S$. Например, при расстоянии между пунктами обоснования 200 м эта величина будет равна 20 мм. В связи с этим величина от 4,0 до 5,0 мм не выходит за указанный допуск и ее можно принимать, с некоторым приближением, за критерий стабильности.

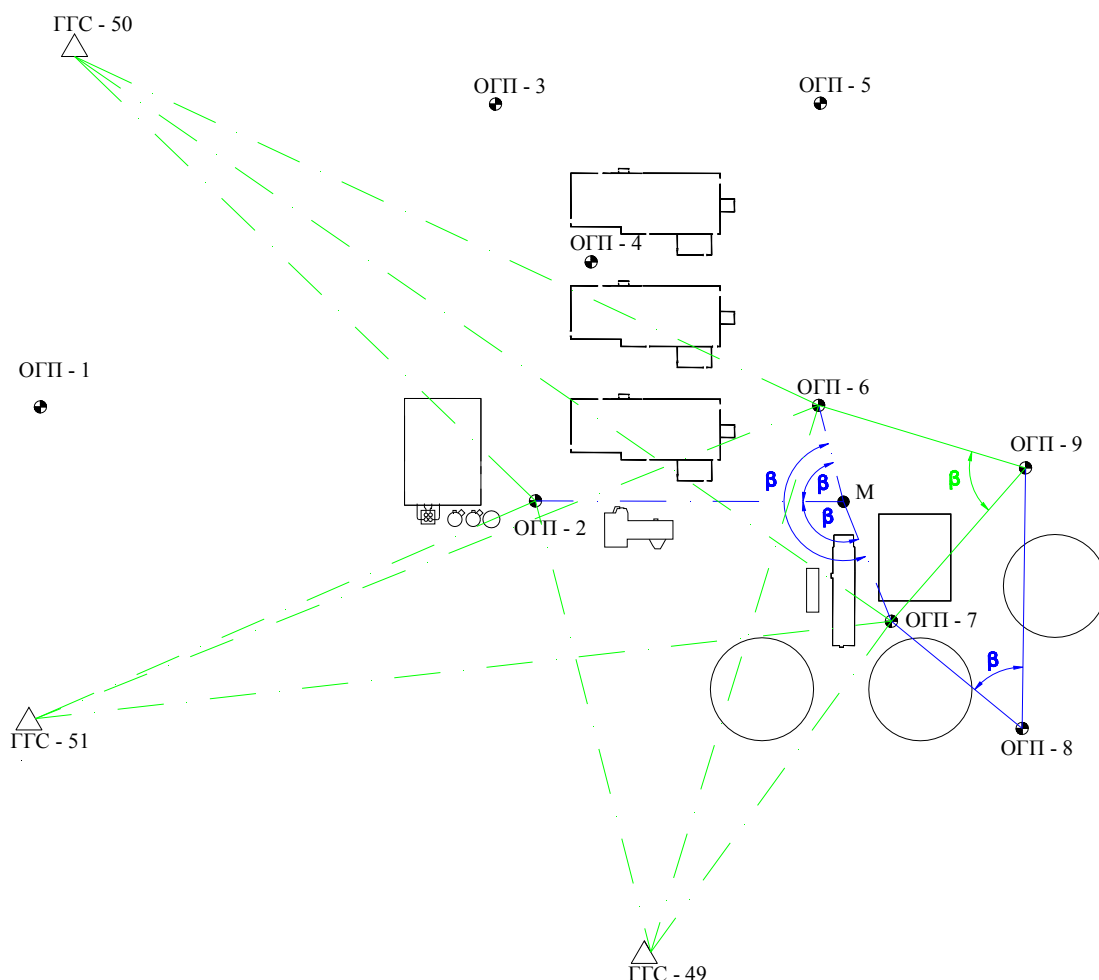


Рисунок 2.13 – Схема определения стабильности пунктов

Автор работы [10] предлагает производить контроль стабильности исходных пунктов путем поочередного принятия в качестве исходного трех пунктов геодезического обоснования и сравнения полученных координат с их первоначальными значениями Δ

$$\Delta x_i = X_i^{ИСХ} - X_i^{GPS}; \Delta y_i = Y_i^{ИСХ} - Y_i^{GPS}; \Delta = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}, \quad (2.1)$$

где i – номер анализируемого исходного пункта;

$X^{ИСХ}, Y^{ИСХ}$ – координаты исходных пунктов, приведенные в каталоге;

X^{GPS}, Y^{GPS} – полученные координаты анализируемых пунктов.

Если величины Δ не превосходят статистический критерий,

$$\Delta_i \leq t \cdot m_{GPS}. \quad (2.2)$$

то расхождение между координатами анализируемого пункта признается находящимся в пределах точности спутниковых определений.

Например, при ошибке измерения, равной $m_{GPS} = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot L(\text{км})$ и средней длине линии $L = 5$ км, численное значение критерия составит, мм

$$\Delta_i \leq t \cdot m_{GPS} = 2 \cdot 12 = 24. \quad (2.3)$$

Невыполнение этого критерия указывает, что перемещение пункта обоснования больше ошибки спутниковых измерений и, следовательно, он является неустойчивым. Наименьшее смещение будет иметь тот пункт, при принятии которого в качестве исходного будет минимальное значение

$$\Delta_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n}}, \quad (2.4)$$

где j – номер варианта анализа стабильности пунктов;

n – число анализируемых исходных пунктов.

Выражение (2.4) автор работы [10] рекомендует принять в качестве критерия стабильности.

Второй способ необходимо применять в тех случаях, когда нет возможности использовать ГНСС технологии. Стабильность положения пунктов обоснования определяется по внутренней сходимости координат «свободной станции». Сущность данного способа заключается в определении координат «свободной станции» несколькими комбинациями от существующих пунктов обоснования.

Согласно требованиям [120] во всех циклах измерений отметки исходных глубинных (грунтовых) реперов принимаются неизменными, если при контроле их положения изменение превышений между ними окажется меньше ошибок измерений (нивелирования) или одного порядка.

Критерием неподвижности глубинных (грунтовых) реперов служит [120] предельное значение, мм:

$$K \leq 2m_{CT} \sqrt{2n}, \quad (2.5)$$

где m_{CT} – средняя квадратическая погрешность определения превышения штатива (станции), принимаемая 0,15 мм;

n – число станций в ходе.

Данный критерий с некоторым приближением можно применить и к определению степени стабильности пунктов планового обоснования. В этом случае m_{CT} будет равна только инструментальной ошибке определения координат тахеометром, равной от 1,5 до 2,0 мм, а число n – количеству исходных пунктов, принятых при решении обратной линейно-угловой засечки.

Пусть нам требуется определить стабильность пунктов обоснования ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-6 (рисунок 2.13). Для этого в точке М (свободной станции) устанавливается тахеометр, и тщательно определяются его координаты x_M, y_M со средней квадратической инструментальной ошибкой порядка от 1,5 до 2,0 мм с использованием координат пунктов ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-6. Предположим, что пункты ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-6 не изменили свое положение. Тогда, общая величина средней квадратической ошибки определения координат (с учетом влияния внешних условий) свободной станции М будет равна порядка от 2,0 до 3,0 мм.

Предположим теперь, что один из пунктов, например пункт ОГП-2, изменил свое первоначальное положение на некоторую величину Δ , равную, например, от 20 до 25 мм. Очевидно, что при решении обратной линейно-угловой засечки величина средней квадратической инструментальной ошибки также будет равна от 1,5 до 2,0 мм, но из-за смещения пункта ОГП-2 координаты x_M, y_M точки стояния тахеометра будут ошибочны на некоторую величину $\Delta x_M, \Delta y_M$. Величины $\Delta x_M, \Delta y_M$ будут содержать в себе собственно

инструментальную ошибку, равную от 1,5 до 2,0 мм, и систематическую ошибку, обусловленную смещением пункта ОГП-2 от 20 до 25 мм. Тогда величина средней квадратической инструментальной ошибки определения положения свободной станции увеличится в несколько раз, и тем самым не будет выполняться условие (2.5). В этом случае наблюдатель должен определить, какой из трех указанных пунктов получил смещение. Для этого последовательно производится решение обратной линейно-угловой засечки относительно только двух пунктов: пунктов ОГП-7 и ОГП-6, ОГП-7 и ОГП-2 и ОГП-6 и ОГП-2. Очевидно, что при использовании пунктов ОГП-7 и ОГП-6 величина общей средней квадратической ошибки положения тахеометра практически не изменится и будет равна от 2,0 до 3,0 мм. При использовании же пунктов ОГП-7 и ОГП-2 и ОГП-6 и ОГП-2 в обоих случаях величина общей средней квадратической ошибки положения тахеометра будет значительно больше и, следовательно, смещение пункта ОГП-2 будет выявлено. В связи с этим при последующих работах пункт ОГП-2 необходимо будет исключить из дальнейшего использования или провести мероприятия по переопределению его координат и увеличению его стабильности.

Достоинством данного способа является возможность его применения непосредственно перед выполнением различных геодезических работ на промплощадке, что увеличивает быстроту определения стабильности. Другим достоинством способа является уменьшение величины средней квадратической ошибки измерений до 3 мм, так как при расстояниях между пунктами от 100 до 150 м высокоточный тахеометр позволяет уверенно обеспечить эту величину.

Недостатком способа является невозможность его применения в том случае, когда все пункты ОГП-7, ОГП-2 и ОГП-6 заложены с нарушением требований, вследствие чего практически все они изменяют свое положение, и выполнить определение стабильности не представляется возможным.

Применение третьего способа целесообразно в стесненных условиях, когда, как правило, взаимная видимость между пунктами ограничена. Пусть, например, требуется определить стабильность пункта ОГП-9 (рисунок 2.13). При

этом взаимная видимость имеется только по направлению на пункт ОГП-8. Для этого на пункте ОГП-8 устанавливается тахеометр, ориентируется на пункт ОГП-7 (или ОГП-2) и решением координатной задачи (или задачи полярных координат) определяются координаты пункта ОГП-9 со средней квадратической ошибкой порядка от 2,0 до 3,0 мм. После сравнения полученных координат со значениями координат предыдущих измерений определяется величина стабильности пункта ОГП-9.

Достоинством способа является, как уже указывалось выше, возможность его применения в стесненных условиях, а некоторым недостатком, это отсутствие уверенности в стабильности пунктов ОГП-7 и ОГП-8. Определенную уверенность в определении взаимной стабильности пунктов ОГП-7 и ОГП-8 дает измерение расстояния (проложение) между ними и сравнение его с предыдущим значением.

Для этого тахеометр остается на ОГП-8, а на ОГП-7 устанавливается в рабочее положение триггер с призмой, по направлению на ОГП-8. В меню тахеометра выбирается режим отражателя-призма и производится серия измерений расстояния (проложения). После этого тахеометр и призму меняют местами, но трегера остаются на месте и измерения повторяются. Разность расстояний с измерениями, выполненными в предыдущем цикле не должна превышать 1 мм.

И, наконец, при реализации четвертого способа применяются ГНСС технологии и измерения тахеометром. Пусть, например, требуется определить стабильность отдельного пункта ОГП-6 (рисунок 2.13), с которого имеется видимость только на пункт ОГП-9 и который расположен в неблагоприятных условиях относительно применения для определения его координат ГНСС технологий. Кроме того, отсутствует уверенность и в стабильности пункта ОГП-9. В этом случае сначала ГНСС технологиями относительно пунктов ГГС определяется стабильность пункта ОГП-9, а затем решением координатной задачи (или задачи полярных координат) определяются координаты пункта ОГП-6.

2.5 Состав геодезических работ при строительстве и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание»

Прежде чем рассмотреть состав геодезических работ при строительстве системы «турбоагрегат-фундамент-основание» (ТФО) рассмотрим устройство парогазовых установок (ПГУ).

Парогазовая установка (ПГУ) состоит из двух отдельных установок: газотурбинной и паросиловой [111, 145]. Парогазовые установки имеют двухвальную и одновальную компоновку основного оборудования турбоагрегата. В двухвальной компоновке два генератора устанавливаются для каждой турбины и располагаются друг напротив друга. При одновальном расположении паровая и газовая турбины находятся на одном валу с общим генератором [111, 145] (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Схема одновальной компоновки оборудования

Мощность ПГУ составляет - 420 МВт, из них 280 МВт приходится на газовую часть и 140 МВт на паровую (рисунок 2.15). Очищенный воздух и газ высокого давления из компрессора находящегося на одном валу с газовой турбиной поступают в камеру сгорания. Происходит сжигание газо-воздушной смеси для создания потоков горячих сжатых газов приводящих во вращение газовую турбину. Она преобразует энергию горячего потока газов в механическую энергию для вращения турбогенератора, передавая на него мощность до 280 МВт. Так происходит первый цикл работы [111, 145].

На выходе из газовой турбины имеется диффузор, через который газ поступает в котел-утилизатор. Котел-утилизатор вырабатывает пар за счет тепла уходящих газов, который предназначен для паровой турбины. Турбина вращает турбогенератор, через самосинхронизирующуюся полумуфту и передает на него мощность до 140 МВт. На данном этапе происходит второй цикл работы [111, 145].

Главным преимуществом ПГУ является высокий КПД, достигающий 60 %. В паросиловых установках КПД находится в пределах от 30 до 40 %, в газотурбинных установках - в диапазоне от 25 до 40 %. Также отмечаются компактные размеры ПГУ и короткие сроки возведения от 10 до 12 месяцев) [111, 145]. Из-за компактных размеров ПГУ сокращаются затраты на доставку электроэнергии по ЛЭП, так как ПГУ можно располагать возле потребителя (завода или города).



1. Дымовая труба. 2. Котел-утилизатор. 3. Диффузор. 4. Газовая турбина. 5. Турбогенератор. 6. Полумуфта 7. Паровая турбина. 8. Конденсатор

Рисунок 2.15 – Схема парогазовой установки

С учетом конструктивных особенностей ПГУ нами разработан состав геодезических работ при строительстве и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание» [111, 145]. Эта схема (рисунок 2.16) должна включать в себя весь комплекс выполняемых геодезических работ, начиная от выноса осей под строительство ПГУ и заканчивая работами при ее эксплуатации [12].

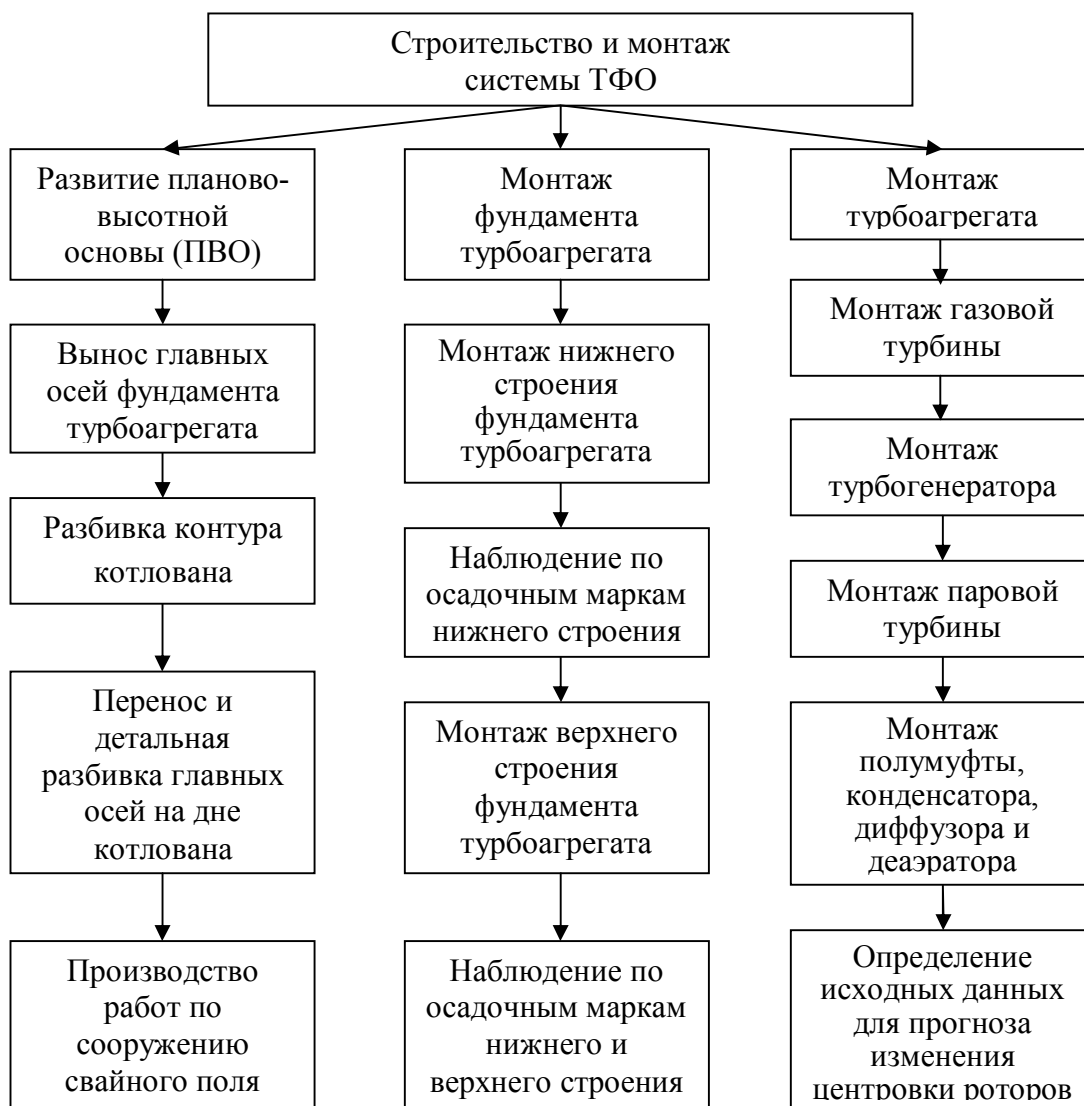
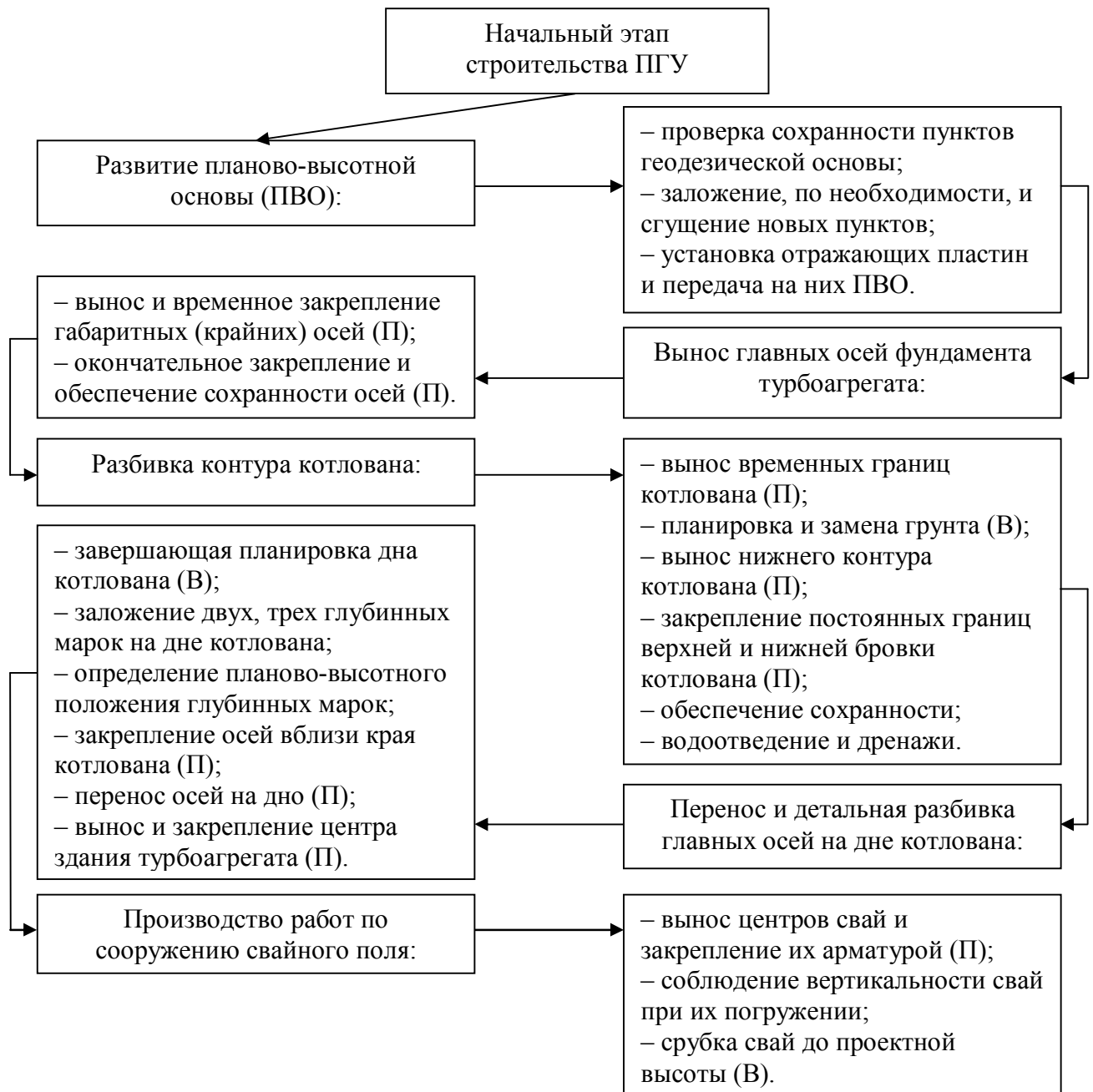


Рисунок 2.16 – Состав геодезических работ при строительстве и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание»

Основными этапами строительства и эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание» являются создание геодезического обоснования, возведение фундамента, монтаж турбоагрегата и ее дальнейшая эксплуатация [135, 138, 151]. При разработке состава геодезических работ необходимо учитывать тот факт, что строительство и дальнейшая эксплуатация указанной системы будет происходить в условиях наличия вечномёрзлых грунтов. Поэтому цикличность проведения соответствующих геодезических работ должна учитывать практически непрерывные изменения положения пунктов сети обоснования, конструктивных элементов сооружений и частей ПГУ. Рассмотрим методику производства геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата.

2.6 Методика производства геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата

Перед началом выноса осей здания турбины нами рекомендуется проверить сохранность пунктов сетки сгущения [109] в районе выполнения работ (рисунок 2.17).



(П) – планоное положение; (В) – высотное положение.

Рисунок 2.17 – Состав геодезических работ при начальном этапе строительства ТФО

Вынос осей рекомендуется начинать с выноса крайних (габаритных) буквенных и цифровых осей, т.е. осей А-А', Е-Е', 2-2' и 5-5' (рисунок 2.18). Вынос может производиться по двум схемам:

- путем выноса крайних точек Н, Т, Q, R пересечения буквенных и цифровых осей;
- путем выноса двух точек на каждой крайней буквенной и цифровой оси.

Рассчитаем точность выноса осей. Согласно формуле (2.6) ошибка геодезических измерений не должна превышать величины 5,0 мм [46, 68].

$$m_p^2 = m_l^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 l^2 + m_{u.p.}^2 + m_u^2 + m_\phi^2 \quad (2.6)$$

Согласно формуле (2.6) при $m_u = 2,0$ мм, $m_l = 2,0$ мм + 1,0 мм/км, $m_\phi = 2,0$ мм, $\rho = 206265''$, $m_{u.p.} = 1$ мм, $m_\beta = 2,0''$ получим $m_p = 3,5$ мм.



Рисунок 2.18 – Схема выноса габаритных осей

При реализации первой схемы на пункте обоснования или на «свободной станции» устанавливается тахеометр, приводится в рабочее положение, зрительная труба ориентируется по выбранному начальному направлению, на ЖК-дисплее устанавливаются координаты точки стояния тахеометра и по проектным координатам предварительно с точностью от 10 до 15 мм выносятся крайние точки Н, Т, Q, R. Грунт в местах вынесенных точек выравнивается, а

сами точки аккуратно закрепляются деревянными кольями длиной от 40 до 50 см и сечением не менее 50x50 мм. После этого тахеометр снова устанавливается на пункте обоснования или на «свободной станции» и аналогичным образом с точностью от 2 до 3 мм снова выносятся крайние точки Н, Т, Q, R. Для контроля и повышения точности вынос точек Н, Т, Q, R производится с другого пункта обоснования или «свободной станции».

После выноса точек Н, Т, Q, R производятся контрольные измерения расстояний НТ, ТQ, QR и RH, а также прямых углов. Отличие измеренных расстояний от проектных не должно превышать 5,0 мм, а углов от 90° не более 5,0". Также дополнительно можно измерить диагонали HQ и TR.

После выноса точек Н, Т, Q, R производится закрепление крайних буквенных и цифровых осей. Для этого тахеометр устанавливается в рабочее положение, например над точкой Н, визируется на точку R и на продолжении визирной оси (створа) на расстоянии от 3 до 5 м от точки R намечается и предварительно кольшком или металлическим штырем закрепляется точка 2. Не снимая тахеометра с точки Н, производится визирование на точку Т и на продолжении визирной оси также предварительно закрепляется точка E'. Аналогичным образом путем установки тахеометра над точкой R производится закрепление вторых, противоположных, точек A' и 2'. Аналогичным образом производится закрепление осей с точек Т и Q. Этими действиями производится предварительное закрепление крайних буквенных и цифровых осей.

Окончательное закрепление крайних буквенных и цифровых осей производится знаками, приведенными на рисунке 2.18. Для этого на место точек 5', A', E и 5 устанавливаются указанные знаки, а над точками Н, Т, Q, R поочередно устанавливается тахеометр и описанным выше способом на металлические пластины знаков выносятся оси.

При реализации второй схемы после определения координат свободной станции производится вынос, закрепление и контроль буквенных и цифровых осей в любой последовательности.

Важным моментом при выносе крайних осей любым способом является обеспечение их сохранности путем обеспечения сохранности осевых знаков. Так как в условиях строительной площадки высока вероятность повреждения или даже уничтожения осевых знаков, то закрепление осей рекомендуется производить большим их количеством (дублирующими знаками); количество дублирующих знаков рекомендуется устанавливать не менее двух для каждой оси.

После выноса осей производится разбивка контуров котлована здания турбоагрегата. Перед началом разработки котлована под фундаменты необходимо провести соответствующие геодезические работы. Геодезические работы при сооружении нулевого цикла заключаются в разбивке и закреплении периметра котлована, передаче разбивочных осей и высотных отметок на дно котлована, определении упругой отдачи дна котлована и размеров осадочной воронки, периодической плановой и высотной исполнительной съемке в период разработки земляных масс и после окончания работ по разработке котлована.

Исходными данными для разбивки геодезической сетки котлованов служат проектные чертежи и данные проектной организации, главным образом в виде прямоугольных координат, на основании которых составляется подробная схема привязки котлована к геодезической разбивочной основе строительной площадки. В нашем случае габарит котлована определяется временными пунктами Н, Т, Q, R. Данная схема определяет контур котлована по габаритам обреза фундамента, т. е. дает привязку в плане низа откосов котлована.

После закрепления временных пунктов Н, Т, Q, R более детально деревянными кольями определяются границы (контур) котлована (точки поворота нижнего контура котлована) согласно разбивочным чертежам.

Точки поворота контуров котлована закрепляются деревянными кольями (знаками) сечением до 100х100 мм (или арматурными стержнями) и длиной до 700 мм со сторожками, на которых краской подписываются номера точек. Точки контура котлована при его разработке во избежание их уничтожения также можно закреплять створными знаками (обноской) на расстоянии, обеспечивающими их сохранность (обычно до 10 м).

Непосредственно при разработке котлованов контроль за их габаритами (контурами) осуществляется с пунктов, закрепляющих габаритные (основные) оси либо с пунктов свободной станции способом координат.

По окончании разбивочных работ по выносу в натуру осей и границ котлована производится исполнительная тахеометрическая съемка с последующей камеральной обработкой. После производства исполнительной съемки производятся измерения при земляных работах (рытье котлована и замещение грунта). Этими действиями определяется окончательная граница разработки котлована и, следовательно, зона наибольшей упругой отдачи дна котлована. В процессе выемки грунта производится систематический контроль за глубиной котлована с помощью геометрического или тригонометрического нивелирования технической точности. Разработку грунта с помощью экскаваторов, бульдозеров и скреперов прекращают за 15 см до проектной отметки, чтобы не нарушить целостность грунта. Оставшийся слой выбирается либо вручную, либо автогрейдерами. Отклонение фактических отметок от проектных не должны превышать 5 см [117].

Для производства последующих строительно-монтажных работ в котловане выполняется обустройство водоотвода. Обустройство водоотвода необходимо для защиты котлована от затопления ливневыми и талыми водами. Для водоотвода обычно используют расположенные с нагорной стороны резервы, кавальеры, а также специально устанавливаемые оградительные обваловки, водоотводящие канавы, лотки и системы дренажей. Канавы или лотки устраивают с продольным уклоном от 0,002 до 0,003, а их размеры и виды креплений принимают в зависимости от расхода ливневых или талых. Воду из всех водоотводящих устройств, а также от резервов и кавальеров отводят в пониженные места.

После завершения выемки грунта до проектной отметки выполняется повторная разбивка нижних контуров котлована, производится исполнительная съемка и предварительно переносятся все оси внешней разбивочной сети на дно котлована для производства свайных и подбетонных работ. Так как глубина

котлована значительна, то перенос главных осей на дно котлована можно выполнять методом линейной створной засечки с пунктов, закрепляющих габаритные оси, или с пунктов строительной сетки (если имеется прямая видимость на дно котлована). Допуски на разбивку точек и осей в плане принимают согласно [115, 116] в зависимости от длины разбиваемой оси, точность которых нормируют. Допуски передачи отметок зависят от высоты между горизонтами, а также допуски на нестворность точек в зависимости от длины оси также приведены в [117].

После планировки дна котлована приступают к выносу осей и разбивки контуров нулевого цикла. Вынос осуществляют от точек на дне котлована, от пунктов внешней разбивочной сети или пунктов свободной станции. Далее с помощью тахеометра от них производится координатная съемка всех вынесенных точек на дне котлована.

При применении координатного метода необходимо:

- весь объем точек, фиксирующих положение разбивочных осей и других конструктивных элементов подземной части зданий, представлять в координатной форме в системе координат строительной площадки;
- вынос проектных точек и исполнительные съемки выполнять только с пунктов внешней разбивочной сети или точек «свободной станции»;
- выполнять данные работы необходимо, как минимум, с двух точек установки тахеометра при двух положения круга;
- на каждой стоянке электронного тахеометра выполнять полное определение приборных поправок; данные о метеоусловиях использовать только на основе приборных измерений.

Контролем будет служить сравнение полученных данных, непосредственных линейных промеров между точками и их проектными значениями.

Полученные фактические координаты вынесенных точек сравниваются с их проектными значениями и вычисляется редукция для перемещения точек в проектное положение.

Исполнительная съемка готовых котлованов, производится способом полярных координат с пунктов «свободной станции» [40]. При производстве исполнительной съемки установка отражателя производится на всех характерных точках котлована, но не реже чем через 5,0 м.

2.7 Методика передачи главных осей на дно котлована

После планировки дна котлована и проведения исполнительной съемки котлована производится подготовка его для выполнения подбетонных работ и окончательной передаче главных осей и разметке детальных осей.

Передача главных осей с осевых знаков, закрепляющих эти оси, в основном производится в два этапа: на первом этапе производится закрепление осей в непосредственной близости к краю котлована, а на втором этапе производится непосредственный перенос осей на дно котлована.

Закрепление осей в непосредственной близости от края котлована производится способом прямого оптического визирования [128]. Для этого тахеометр устанавливается на осевом знаке с одной стороны котлована, а отражатель - на другом осевом знаке на противоположной стороне котлована. Затем зрительная труба визируется на отражатель, после чего она наклоняется (измерения выполняются при двух кругах) и на расстоянии от 0,5 до 1,0 м от края котлована стальным стержнем или деревянным знаком со шляпкой гвоздя закрепляется точка створа, например точка 3-А (рисунок 2.19). Затем тахеометр и отражатель меняются местами и аналогичным образом закрепляются точка створа с другой стороны котлована. Вследствие этого на противоположных краях котлована будут дополнительно закреплены две точки главной оси. После этого определяются координаты этих точек.

После этого тахеометр устанавливается на одну из этих точек, и зрительная труба визируется на отражатель, установленный на другой точке, на противоположной стороне котлована. Затем зрительная труба наклоняется и на дне противоположной стороны котлована также стальным стержнем или деревянным знаком со шляпкой закрепляется главная ось. Для закрепления

другой точки на дне котлована тахеометр и отражатель меняются местами, и перенос точки осуществляется аналогичным образом. Этими измерениями на дне котлована будет зафиксирована главная (габаритная) ось двумя точками.

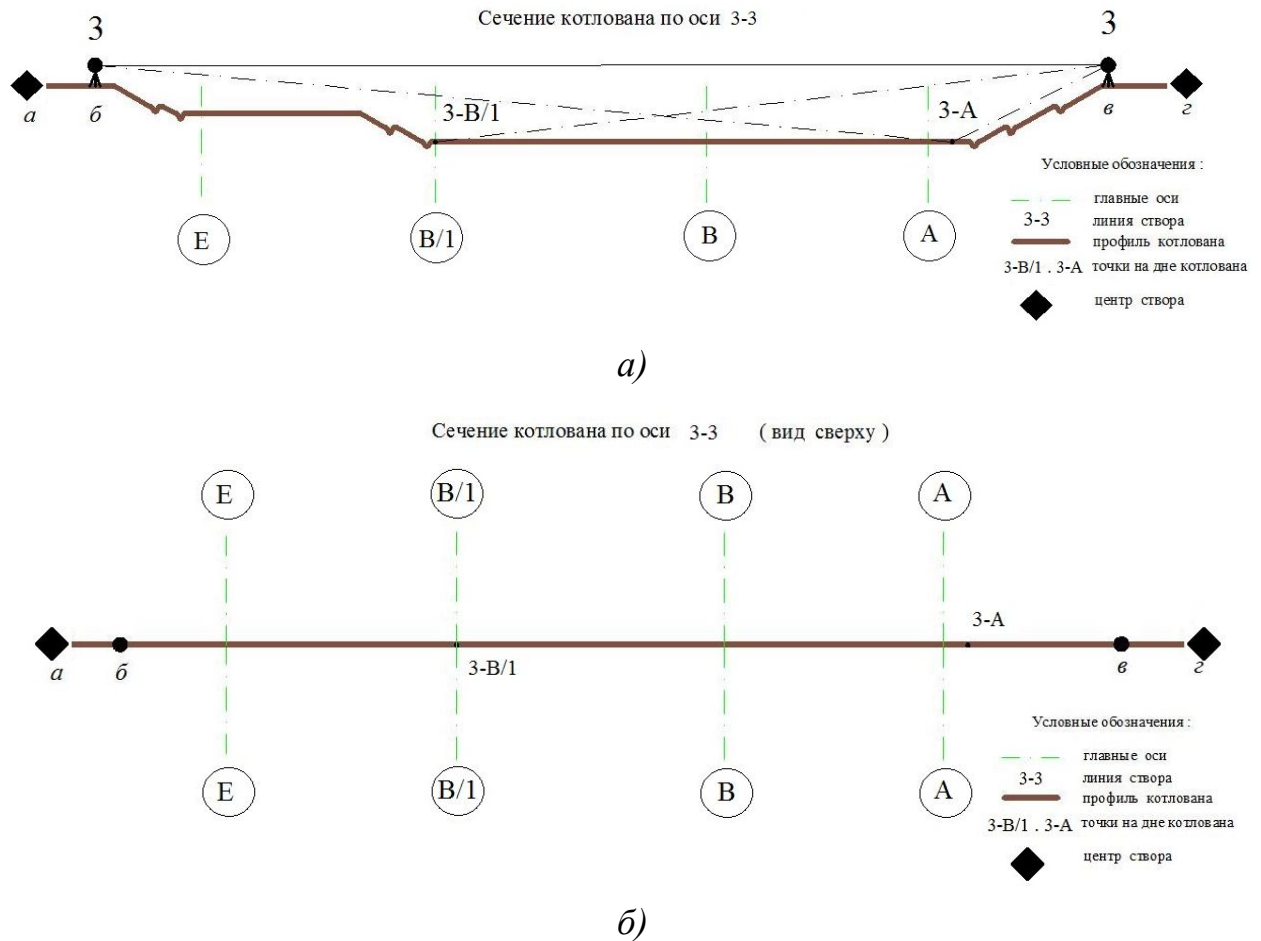


Рисунок 2.19 – Схема передачи осей: а) вид в разрезе; б) вид сверху

Перенос другой главной оси производится аналогичным образом. В результате этих измерений на дно котлована будут перенесены две продольные главные оси здания турбоагрегата. Аналогичным образом производится перенос и двух других (поперечных) осей.

Передача главных осей возможна способом прямого оптического визирования. Ошибка визирования в угловой мере обычно представляется в виде формулы [127]

$$m_B = \frac{\delta''}{\nu}, \quad (2.7)$$

где δ'' – некоторый критичный угол зрения, зависящий от условий наблюдений и типа визирной цели;

ν – увеличение зрительной трубы.

В инженерно-геодезических работах, когда наблюдения ведутся на четкие визирные цели, расположенные на небольшом расстоянии от тахеометра, средняя квадратическая ошибка визирования может быть принята [127, 130]

$$m_B = \frac{5''}{\nu}, \quad (2.8)$$

при $\delta'' = 5''$.

Так как при построении створа приходится визировать дважды (вначале на визирную цель, установленную в закрепленной точки оси, и затем на цель, фиксирующую разбиваемую точку), то, следовательно, для створных построений ошибка визирования [129]

$$m_{Bc}'' = m_B \sqrt{2} = \frac{5'' \sqrt{2}}{\nu}, \quad (2.9)$$

или в линейной мере

$$m_{Bc} = \frac{5'' \sqrt{2}}{\nu} \cdot \frac{l}{\rho''}, \quad (2.10)$$

где l – расстояние от разбиваемой точки до прибора.

В высокоточных наблюдениях, выполняемых в благоприятных условиях, ошибка визирования составляет от $0,3''$ до $0,5''$ [33]. Рассчитаем ошибку визирования, при $\delta'' = 5''$; $\nu = 30$; $l = 100$ м; $\rho = 206265''$; $m_B = 0,11''$.

Перенос габаритных осей одним этапом, возможно произвести в тех случаях, когда имеется прямая видимость с пунктов, закрепляющих габаритные оси, на дно котлована.

Нахождение центра здания турбины производится линейной створной засечкой с этих четырёх точек. Центр здания турбоагрегата закрепляется временным знаком [111]. После получения координат центра линейными измерениями определяются координаты четырёх точек осей, которые также закрепляются временными знаками. В результате переноса осей и центра здания

турбоагрегата на дно котлована получается система координат, у которой известны координаты центра, координаты четырёх точек осей и имеются направления по этим осям координат. Дальнейшая детальная разбивка фундаментной части производится относительно координат полученного центра, координат четырёх точек и этих осей координатным методом. При необходимости могут быть использованы координаты точек, закреплённых на краю котлована.

Для производства детальная разбивка с точки (центра) пересечения осей тахеометр устанавливается над этим центром, ориентируется по направлению одной из главных осей и способом полярных координат или координатным способом выполняется детальная разметка осей под свайное поле.

В большинстве случаев глубина котлована будущего здания значительна и передача главных осей здания на дно котлована с пунктов строительной сетки не предоставляется возможным (рисунок 2.20).



Рисунок 2.20 – ПСС перед котлованом ПГУ-1

Поэтому передача осей производится с осевых знаков (линейной створной засечкой), закрепляющих эти оси или методом «свободной станции». Передача осей производится после проведения исполнительной съёмки и после тщательного выравнивания до проектной отметки дна котлована.

При передаче главных осей методом «свободной станции» определяются координаты точки их пересечения и координаты двух точек на каждой из этих двух осей. Для этого после установки тахеометра методом «свободной станции» его зрительная труба ориентируется на один из пунктов строительной сетки и по

проектным координатам выносятся указанные точки. После выноса главных осей методом «свободной станции» аналогичным образом выносятся деталильные оси.

После выноса осей необходимо произвести передачу высоты на дно котлована. В нормативной литературе [116] указывается, что для переноса высоты на монтажные горизонты необходимо использовать только нивелиры.

Передачу высоты на дно котлована при строительстве Няганской ГРЭС нами было предложено использовать тахеометр. Вынос можно производить двумя способами.

При реализации первого способа тахеометр устанавливался на краю котлована (рисунок 2.21), а веха, с установленной внизу мини-призмой, располагается на репере.

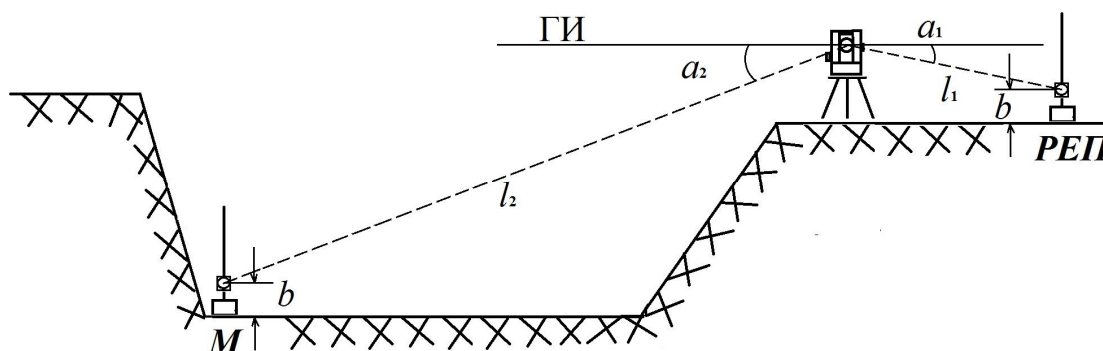


Рисунок 2.21 – Перенос высоты с помощью тахеометра

После этого высоту призмы вводят в интерфейсное меню тахеометра. Так же выбирается режим отражателя – призма (тип отражателя – мини-призма) и вводятся поправки за температуру и давления. Поправками за кривизну Земли можно пренебречь т.к. расстояния между тахеометром и выносимой точкой невелики. После того производится измерение превышения тригонометрическим нивелированием и вычисляется отметка точки M . Средняя квадратическая ошибка измерения превышения будет равна [97]

$$m_{H_M}^2 = m_{l_1}^2 \sin^2 \alpha_1 + \frac{m_{\alpha_1}^2}{\rho^2} l_1 \cos^2 \alpha_1 + 2m_u^2 + m_{l_2}^2 \sin^2 \alpha_2 + \frac{m_{\alpha_2}^2}{\rho^2} l_2 \cos^2 \alpha_2, \quad (2.11)$$

где m_α – СКО измерения угла наклона (2'');

m_{l_1}, m_{l_2} – СКО измерения расстояния (2 мм);

α_1, α_2 – углы наклона;

l_1, l_2 – расстояние до цели в мм;

$\rho = 206265''$;

m_{η} – ошибка за центрирование мини-призм (1мм).

Например, при $\alpha_1 = 15^\circ, \alpha_2 = 30^\circ, l_1 = 10 \text{ м}, l_2 = 40 \text{ м}$, то $m_{\eta} = 2,32 \text{ мм}$.

При реализации второго способа применяется метод «свободной станции». Для этого на верху котлована определяется точка стояние прибора таким образом, чтобы визирный луч мог опуститься на дно котлована. Затем тахеометр ориентируется на три пункта с известной высотой и вычисляется высота станции (решается обратнo-угловая засечка по высоте). После этого, как и в первом способе, веха с мини-призмой устанавливается в точку М и в режиме съемки выносятся высота М.

После выноса высоты на дно котлована необходимо производить работы по наблюдению за упругой отдачей дна котлована и размеров осадочной воронки [130]. Целью таких наблюдений является сбор фактических данных для характеристики подъема различных его точек в зависимости от последовательности разгрузки, физико-механических свойств пород, ширины и глубины выемки. Эти данные необходимы для правильного понимания последующих деформаций основания, связанных с изменением действующей на него нагрузки. Поэтому в области разгрузки бытового давления часто наблюдается увеличение влажности пород без какого-нибудь поступления воды в котлован со стороны. В нашем случае это происходит из-за оттаивания вечномерзлых грунтов. Поступающая вода способствует разрастанию водно-адсорбционных пленок, которые раздвигают минеральные частицы, вызывая структурные деформации породы и дальнейшее ее набухание. Следствием набухания являются подъемы дна котлованов, которые в большинстве случаев измеряются несколькими сантиметрами, но в отдельных случаях могут достигать от 10 до 20 см и более.

Для измерения подъема дна строительных котлованов до их вскрытия в заранее намеченных местах следует пробурить скважины, в которые следует

заложить марки специальной конструкции.

Скважины бурятся с обсадными трубами диаметром от 145 до 219 мм. После достижения проектной глубины обсадные трубы приподнимаются на 0,5 м. В забой скважины опускается глубинная марка и производится ее установка [78, 79]. Для этих целей можно использовать марки конструкции П. И. Брайта или В. Е. Новака, предназначенные для закладки в твердых и галечниковых породах. После установки глубинных марок на них нивелированием II класса передают отметки от ближайшего репера.

Разность отметок марки до и после вскрытия котлована дает величину упругой отдачи данного места дна котлована в связи со снятием природного давления горных пород. Подъем дна является наибольшим в середине котлована и уменьшается к его бортам. Как показывает опыт таких работ при сооружении котлована с сезонным промерзанием грунтов, подъем грунта наблюдается также и на некотором расстоянии от границ котлована. Зона подъема зависит от величины снятой нагрузки и от физико-механических свойств пород района земляных работ.

Так как наибольший подъем дна котлована происходит в его центре, то определить упругую отдачу котлована в первом приближении можно производить без установки глубинных марок по всей площади выемки грунта. Для этого только в центре будущего котлована производится бурение скважины с обсадной трубой диаметром от 145 до 219 мм и после бурения эта труба не вынимаются (не поднимается) и на величину до 1,0 м от дна заполняется цементным раствором. Спустя две недели на эту трубу геометрическим нивелированием II класса передается отметка от глубинного репера. Выемка грунта из котлована начинается с его краев по направлению к середине, где находится скважина. При приближении земляных работ на расстояние до 2,0 м к скважине на нее снова передается отметка. Разность отметок верха скважины до и после вскрытия котлована дает величину упругой отдачи серединной части дна котлована. Величина отдачи дна котлована по направлению к его краям определяется путем интерполирования.

2.8 Разработка технологической схемы производства геодезических работ при сооружении системы «основание-фундамент»

После планировки дна котлована производятся геодезические работы под устройство свайного поля. Сооружение свайных полей производится на основе разбивочного чертежа [111]. При сооружении свайных полей координаты местоположения свай определяются способом координат. Высотное положение свай нами рекомендуется определять тригонометрическим нивелированием с одной станции относительно рабочего репера.

Разбивка свайного поля может производиться с установкой тахеометра в центре котлована или с пунктов, закрепляющих габаритные оси на дне котлована. При разбивке откладываются проектные координаты (или расстояния) до центров свай (рисунок 2.22).

Местоположение свай закрепляется металлическими штырями. Положение свай, расположенных не на осях, удобно определять от осей способом перпендикуляров.

Для разбивки кустового расположения свай разметка их в кусте производится с помощью шаблона. При этом определяется расположение свай по углам куста, а промерами от углов определяется внутреннее положение свай в кусте.

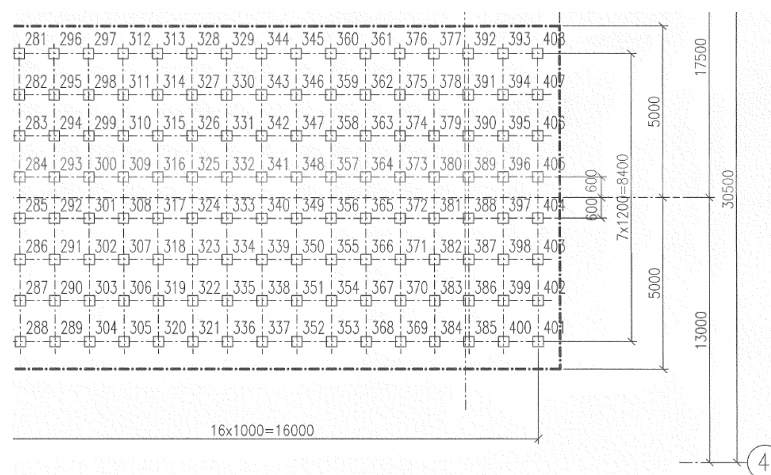


Рисунок 2.22 – Проектный чертеж с указанными расстояниями до центров свай

При забивке свай их вертикальность определяется тахеометром в двух взаимно перпендикулярных плоскостях способом коллимационной плоскости.

Вертикальность сваи контролируется и в процессе ее забивки; допустимое отклонение от вертикали 10 мм [115, 116].

По окончании забивки свай производится их нивелировка и, зная длину сваи, определяется отметка ее погружения. После погружения свай производится их срубка. Высоту срубki удобно производить с помощью тахеометра (рисунок 2.23).

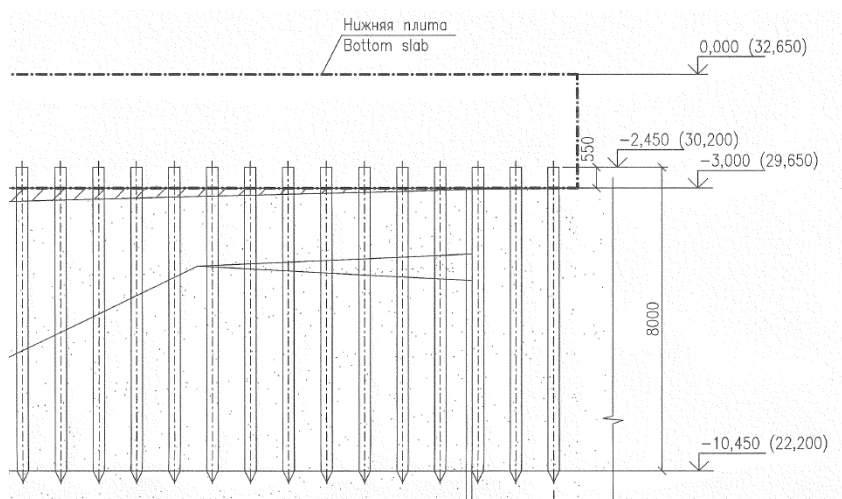


Рисунок 2.23 – Проектные высоты срубki свай тахеометром

После установки его в любом месте котлована или его бровки определяются координаты «свободной станции» путем обратно-угловой засечки. В конструкцию тахеометра входит лазерный указатель и с его помощью, зная проектную высоту срубki, указывается место очерчивание риски для срубki сваи. Преимущество данного способа заключается в том, что с одного места можно произвести вынос проектных высот срубki сваи практически для всего свайного поля.

Допустимое отклонение свай в плане с учетом их возможного неперпендикулярного погружения не должно превышать для свайных полей $0,4 \cdot D$, где D – диаметр сваи, но не более 40 см [115, 116]. С большей точностью устанавливаются крайние ряды свай. При отклонении их от проектного положения расстояние от сваи до края ростверка должно быть $0,15 \cdot D$, но не более 5 см. После завершения геодезических работ по сооружению свайного поля приступают к выполнению геодезических работ по устройству фундаментов (рисунок 2.24).



Рисунок 2.24 – Технологическая схема монтажа фундамента турбоагрегата

Исходными данными для этого являются схемы осей зданий и сооружений с расстояниями между ними и привязкой к конструкциям фундаментов, планы и разрезы фундаментов и котлованов под несущие конструкции и технологическое оборудование, отметки опорных поверхностей оснований и фундаментов

Фундамент турбоагрегата главного корпуса НГРЭС представляет собой монолитную железобетонную плиту [111]. В качестве ростверка создается единая для всего котлована грунтоцементная плита, состоящая из нижней и верхней плиты единой конструкции (рисунок 2.25).

Для устройства фундаментов в котловане выполняется детальная разбивка осей и контуров нулевого цикла с закреплением их на обносках и выносках. После производства детальной разбивки фундаментной части сооружения приступают к производству геодезических работ для возведения фундамента сооружения.

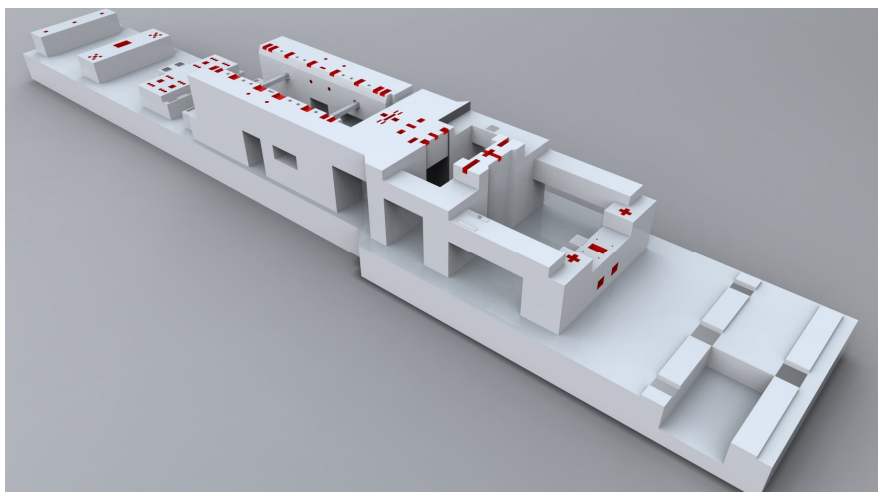


Рисунок 2.25 – 3D вид фундаментной плиты НГРЭС

Ошибка измерений в процессе геодезического контроля геометрических параметров фундамента турбоагрегата должна рассчитываться по формуле [46]

$$m \leq 0,2\delta \quad (2.12)$$

где m – средняя квадратическая ошибка измерений;

δ – допустимое отклонение контролируемого параметра.

Комплекс геодезических работ, выполняемых при возведении фундамента, включает в себя [79, 111]:

- разбивочные работы при подготовке подбетонного основания и сооружения грунтоцементной плиты;
- разбивочные работы при сооружении арматурного каркаса, закладных деталей и анкерных устройств;
- контроль установки опалубки;
- контроль бетонирования;
- разбивка мест ввода подземных инженерных сооружений;
- исполнительные геодезические съемки на каждом перечисленном выше этапе сооружения фундамента;
- вынос строительного горизонта, фундаментной плиты внутренней разбивочной сети зданий главного корпуса НГРЭС.

Перед началом выполнения работ по возведению фундаментов необходимо уточнить внесенные изменения в разбивочные чертежи, а также проверить сохранность точек выполняемой детальной разбивки. Производство геодезических измерений необходимо выполнять с главных, основных или детальных осей, с точек их пересечения. или со «свободной станции».

Опалубка монтируется из металлических блоков (коробов). Короба устанавливаются в проектное положение на специальных подкладках так, чтобы низ щитов был 4 см выше проектной отметки фундамента [111, 145]. В процессе строительно-монтажных работ контролируется смещение установочных осей опалубки относительно разбивочных осей. Контроль за смещением выполняется с помощью тахеометра или лазерного геодезического прибора методом створов [111].

Расхождение с проектными размерами опалубки не должны превышать ± 10 мм. Допустимы отклонения от вертикали не более 5 мм на 1 м высоты, но не более 20 мм на всю высоту [37, 117].

Если во время бетонирования опалубка деформируется, то бетонирование приостанавливается и выполняются работы направленные на установку опалубки в проектное положение. По завершении бетонирования, через 144 ч опалубку снимают и выполняют исполнительную съемку планово-высотного положения фундамента. После анализа полученной съемки отклонение фактического положения фундаментной плиты от проектной не должно превышать ± 10 мм [37].

Далее производится перенос обоснования на фундамент турбоагрегата от опорных геодезических пунктов. Закрепление пунктов производится металлическими штырями диаметром не менее 20 мм путем установки их в тело плиты на глубину от 100 до 150 мм и высоту не более 10 мм от уровня бетона. Число таких пунктов в среднем равно от 11 до 15 штук [111].

Все строительные оси здания выносят на бетонную подготовку. Их закрепляют керном на металлических пластинах, заложенных в бетон.

Среднюю квадратическую ошибку построения оси здания можно вычислить по формуле [128]

$$m_{\text{ств.}} = \sqrt{m_{\text{и}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{в}}^2 + m_{\text{фок.}}^2}, \quad (2.13)$$

при $m_s = 1,5$ мм, $m_{\text{фок}} = 1,0$ мм, $m_u = 1,0$ мм, $m_{\text{ц}} = 1,0$ мм, $m_p = 1,0$ мм и $m_e = 0,5$ мм средняя квадратическая погрешность построения створа между двумя исходными пунктами будет равна 3,1 мм.

Так как вынос точек производится с двух взаимно-перпендикулярных направлений, то СКО построения створа будет равна, мм

$$m_{\text{ств.}} = \frac{3,1}{\sqrt{2}} = 2,2. \quad (2.14)$$

Вынос главных осей турбоагрегата выполняется при помощи тахеометра [128]. После этого производится возведение фундамента верхнего строения. Фундаментная плита верхнего строения состоит из девяти узлов монолитного каркаса. Возведение может быть как последовательным: сначала строят первый узел, после его бетонирования второй и т.д. так и параллельным, когда параллельно возводят все узлы монолитного каркаса. Данный выбор способа возведения зависит от сроков возведения фундамента. Геометрические параметры узлов каркаса индивидуальны, поэтому разбивка армокаркаса, опалубки и закладных деталей выполняется по разбивочным чертежам [111].

Производство геодезических измерений необходимо выполнять с главных, основных или детальных осей, а также с точек их пересечения. Если выполнять измерения с этих точек невозможно, то они выполняются со «свободной станции», координаты которой предварительно определяются.

Ошибки, присущие данному способу, аналогичны ошибкам способа полярных координат [157]. При использовании высокоточного тахеометра и при тщательном выполнении измерений ошибка выноса точек не будет превышать от 1,0 до 2,0 мм при расстоянии до этих точек от 30 до 50 м [37].

Разбивка фундаментной плиты верхнего строения, ее опалубки, армокаркаса и закладных деталей производится согласно плану расположения осей фундамента и плану расположения опалубки. Измерения проводятся с точек пересечения главных

и основных осей способом полярных и прямоугольных координат, а также створной линейной засечки (рисунок 2.26).

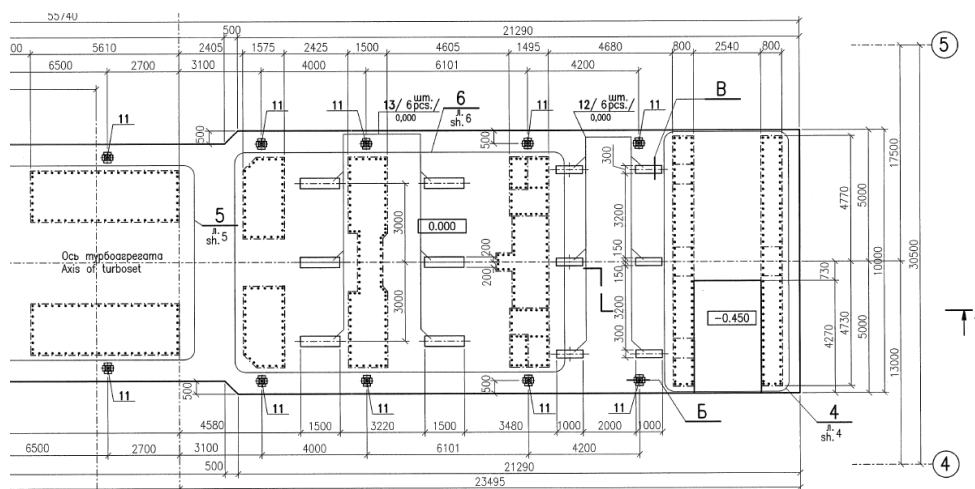


Рисунок 2.26 – Разбивка закладных деталей фундаментной плиты

Определение высотного положения фундаментов (опалубки) производится с рабочих реперов, расположенных в пределах одной нивелирной станции.

Положение точек элементов опалубки и армокаркаса закрепляются рисками с окраской на бетонной подготовке. За пределами бетонной подготовки точки закрепляются рисками на оголовках металлических штырей, а при большом количестве точек в одном месте рисками с окраской на инвентарной обноске [111].

После установки армокаркаса производится исполнительная съёмка. Она производится с пунктов названных сетей по мере возведения элементов фундаментов и после окончания возведения. На исполнительном чертеже указываются действительные геометрические параметры армокаркаса, опалубки, закладных деталей и их отклонения от проектных значений.

В процессе монтажа опалубки контролируется смещение установочных осей опалубки относительно разбивочных осей. Контроль смещения производится с помощью тахеометра способом створов с ошибкой от 2 до 3 мм. Положение элементов опалубки определяется координатным способом тахеометром или теодолитом и стальной рулеткой. Правильность разбивки контролируется путём измерения расстояния между полученной точкой и второй осью, которое должно быть

равно отложенной вдоль оси координате.

Установку закладных деталей верхнего строения турбоагрегата (рисунок 2.27) целесообразно производить от нулевой высоты и по мере подъема опалубочных щитов до самого верха (от 0,000 до плюс 4,700 мм).

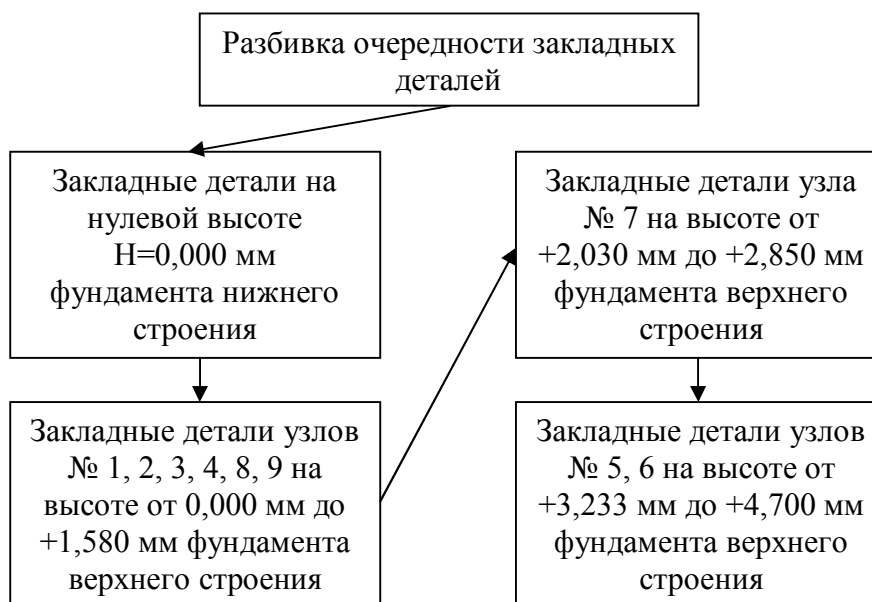


Рисунок 2.27 – Технологическая схема разбивки закладных деталей верхнего строения тахеометром

Разбивка закладных деталей верхнего строения турбоагрегата производится на узлах № 1, 2, 3, 4, 8, 9, высота которых не превышает плюс 1,600 мм (рисунок 2.27). Для этого тахеометр устанавливают на фундамент нижнего строения турбоагрегата и производят разбивку [111]. Далее по мере увеличения высоты производится вынос остальных закладных деталей узлов № 5, 6, 7. Для этого необходимо две площадки, которые монтируются на высоте плюс 5,000 мм. Одна площадка находится в начале возводимого верхнего строения, а вторая в конце. Из-за геометрических особенностей фундамента невозможно производить геодезические работы с одной станции. После установки всех конструктивных элементов перед началом бетонирования производится планово-высотная съемка всех элементов опалубки, к которым относятся характерные точки, положение анкерных болтов и закладных деталей [111]. После набора прочности бетона, при положительной температуре это занимает порядка 144 ч, производится шлифовка неровностей бетона и очистка

закладных деталей и осадочных марок.

На скобы фундамента выносятся положение осей и производится исполнительная съемка готовых монолитных фундаментов [109].

После проведения исполнительной съемки производится анализ и уточнение результатов возведения фундамента со строительной организацией. Затем переходят к монтажу основных узлов турбоагрегата.

2.9 Технологическая схема геодезического обеспечения монтажа турбоагрегата

Для обеспечения монтажа турбоагрегата необходимо предварительно выполнить комплекс высокоточных инженерно-геодезических измерений в рекомендуемой нами [145] последовательности:

- выполнить монтаж фундамента турбоагрегата;
- восстановить и произвести сгущение плано-высотного обоснования в районе турбинного зала (при необходимости);
- вынести основные продольные и поперечные оси турбоагрегата;
- выполнить монтаж элементов турбоагрегата.

Рассмотрим технологическую схему производства геодезических работ при монтаже основных частей турбоагрегата (рисунок 2.28).

Основными частями турбоагрегата являются цилиндры, генераторы и ротора с подшипниками (линия валопровода). Установка этих элементов в плано-высотное положение, требует обеспечения точности измерений порядка от 0,05 до 0,10 мм [8].

Монтаж турбоагрегата начинается поэтапно с проверки правильности выноса главных и вспомогательных осей на локальном участке [109].

После возведения верхнего строения фундаментной плиты, приступают к проверке и соответствию проекту основных элементов фундамента.

Для этого проверяются габариты фундамента, форма и глубина колодцев под фундаментные шпильки, и их расположение по отношению к главным осям фундамента; допустимое отклонение не должно превышать $\pm 5,0$ мм [8, 9].

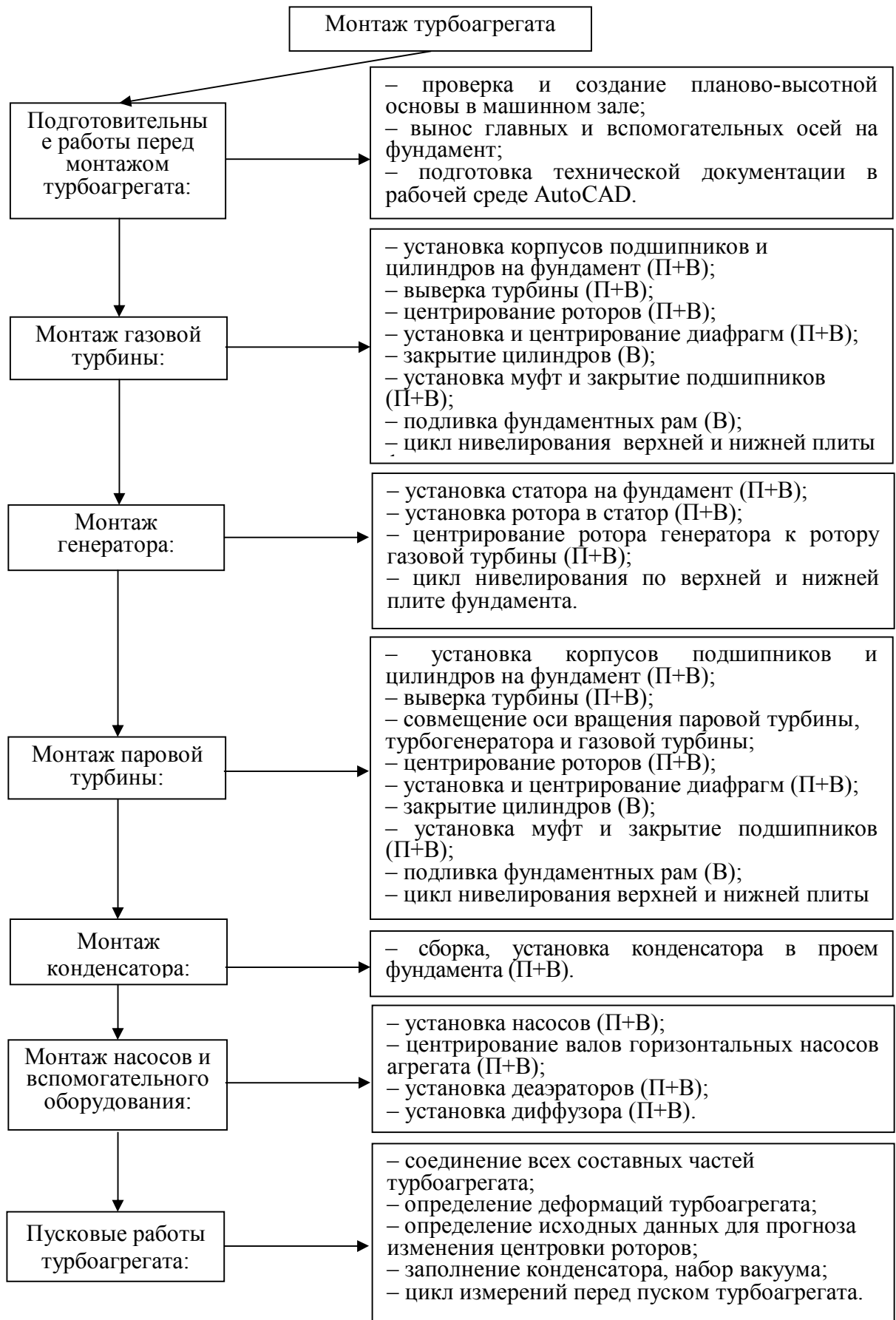
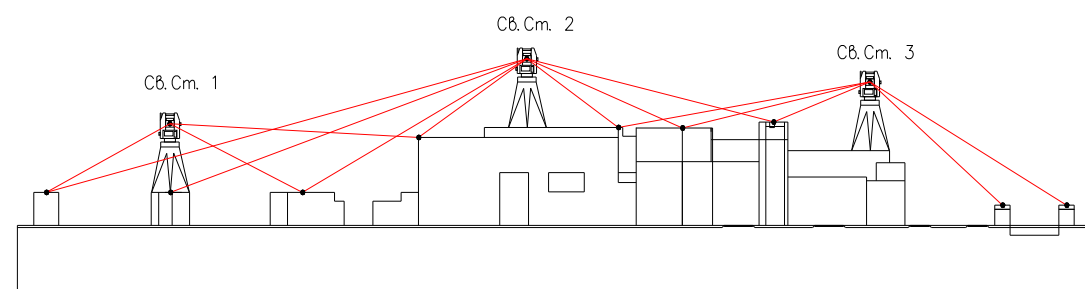


Рисунок 2.28 – Технологическая схема монтажа турбоагрегата

Так же проверяется пространственное положение всех закладных деталей, плано-высотное положение опор под рамы паровой турбины, генератора, газовой турбины, опор конденсатора и другое вспомогательное оборудование; допустимое отклонение не должно превышать $\pm 3,0$ мм относительно их проектных значений [8]. При выполнении измерений тахеометр устанавливается в начале турбинного отделения на верхнюю фундаментную плиту и методом «свободной станции» определяются пространственные координаты точки стояния тахеометра.

Место стояние должно быть выбрано таким образом, чтобы угол падения визирного луча от прибора до каждой отражающей пленки был меньше 40° [77]. В этом случае имеется возможность выполнить линейные измерения с ошибкой от 1,0 до 1,5 мм. Затем с помощью мини призмы производится съемка всех характерных точек фундамента турбоагрегата, а также основного и вспомогательного оборудования.

В связи с тем, что с одной станции невозможно выполнить такую съемку, то она производится с некоторых станций (рисунок 2.29).



Примечание:

Св. Ст. 1 – стояние прибора методом свободной станции

• – характерная точка

— линия визирования

Рисунок 2.29 – Схема проверки фундамента турбоагрегата

После проведения анализа полученных результатов съемки и сравнения их с проектными значениями принимается решение о переходе к монтажу турбоагрегата или исправлении отклонений от проекта характерных конструктивных элементов фундамента.

После анализа геодезического обоснования переходят к выносу главных и вспомогательных осей [109]. Главными осями турбоагрегата являются продольные оси роторов (линия валопровода) и поперечные оси опор подшипников. Вынос главных осей осуществляется по координатам с помощью тахеометра на заранее установленные металлические пластины размером 50x50 мм. Чаще всего используют тонкие металлические пластины, позволяющие керном намечать характерные точки пересечения главных осей. Важным фактором при выносе точек является правильность определения проектных координат пересечения проектных осей. Для этого используется программный продукт AutoCAD. В программном продукте AutoCAD по проектным расстояниям от пересечения главных осей здания определяются координаты пересечений (характерных точки рисунок 2.29).

Затем проверяется плано-высотная основа турбинного отделения машинного зала. Ранее была создана внутрицеховая разбивочная сеть, в виде отражающих пленок на колоннах каркаса (рисунок 2.12). Данная сеть создавалась с ошибкой плано-высотного положения 1-2 мм, относительно рабочего обоснования [16]. После закрытия теплового контура турбинного отделения (возведения стен из сэндвич-панелей и включения отопления) внутрицеховая сеть становится главной разбивочной основой, от которой в дальнейшем, производится все СМР по возведению турбоагрегата. Сходимость всех отражающих пленок проверяется с помощью тахеометра. Для этого тахеометр устанавливается в различных местах машинного зала и обратной линейно-угловыми засечками определяются координаты «свободной станции» с ошибками ΔX , ΔY и ΔH не более 1 мм.

После проверки сходимости внутрицеховой сети приступают к выносу главных осей. В связи с тем, что с одной станции невозможно выполнить вынос всех осей и характерных точек пересечения данных осей, то он производится с нескольких станций (рисунок 2.30). При выносе осей и характерных точек тахеометр ставится в начало турбинного отделения Ст. 1 на фундаментную плиту и методом «свободной станции» от ОП-51, 54, 66, 69 определяются

пространственные координаты станции. Затем производится вынос главных осей $O - O'$ и две линии $1 - 0 - 1'$ и $2 - 0 - 2'$ с характерными точками, на металлические пластины. Поперечные оси являются осями опорных подшипников турбоагрегата и обозначаются линиями $1 - 0 - 1' \dots 6 - 0 - 6'$. В качестве визирной цели можно использовать мини призму, установленную на минимальной высоте 100 мм или отражающую пленку, которая предварительно наклеивается на металлический брусок, дно которого отшлифовано и не имеет зазоров при соприкосновении с ровной поверхностью. При наведении зрительной трубы визирный луч опускается в самый низ перекрестия отражающей пленки, в точку прилегания отражающей пленки и металлической пластины, после чего производится кернение полученной точки.

Аналогичным образом происходит вынос остальных характерных точек. Тахеометр переносится на Ст. 2, а потом на Ст. 3. (рисунок 2.30).

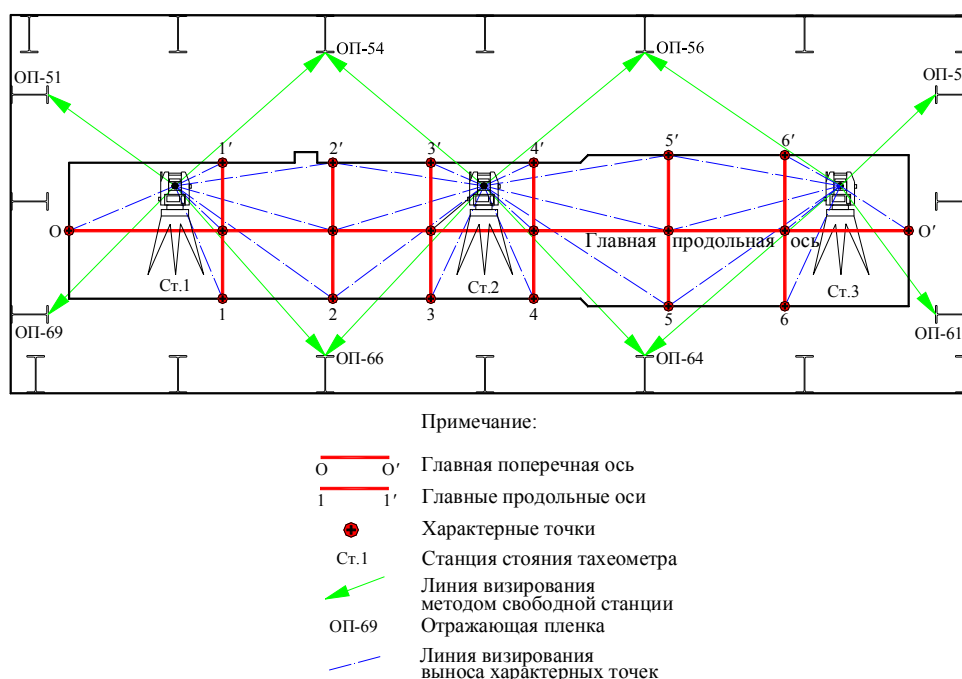


Рисунок 2.30 – Схема выноса главных осей и характерных точек фундамента турбоагрегата

Для контроля выноса точек измерения выполняются повторно; разность между накернёнными точками не должна превышать в плановом положении $\pm 1,5$ мм.

После выноса в натуру главных осей и характерных точек, перед монтажом проводится цикл высокоточного геометрического нивелирования [111]. Нивелирный ход прокладывается по нижнему и верхнему строению фундамента турбоагрегата. Перед началом измерений обязательно измеряется температура в районе фундамента [99]. Замеры температуры необходимы для предварительного выявления тепловых деформаций фундамента. Этот цикл измерений осадок и деформаций является первым, и он принимается за исходный при использовании полученных результатов во время проведения центровки роторов [47]. В таблице 2.4 приведено рекомендуемое количество циклов высокоточного нивелирования.

Таблица 2.4 – Рекомендуемое число и последовательность циклов измерений при монтаже фундамента турбоагрегата ПГУ

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
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, деаэрата 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 часа	За сутки до ПНР (пуско-наладочных работ) один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента

Необходимо отметить, что приведенная последовательность циклов в таблице 2.4 измерений основывается на требованиях завода – изготовителя и заказчика, а также на результатах большого объема измерений, выполненных на Няганской ГРЭС.

Относительно первого цикла будет определяться динамика фундамента в зависимости от нагружения ее частями турбоагрегата. После выполнения первого цикла нивелирования переходят к монтажу турбоагрегата.

Монтаж турбоагрегата начинается с установки цилиндров газовой турбины на фундаментные рамы [134]. Для установки цилиндров турбины в проектное положение используется метод «свободной станции». Затем путем совмещения центрировочных рисок, замаркированных на корпусе цилиндров, с главными осями турбоагрегата предварительно устанавливают их на фундаментную раму. После этого визирный луч тахеометра наводится на центрировочные риски и тем самым определяется их пространственное положение, которые затем сравниваются с полученными координатами центрировочных рисок и проектных координат главных осей; расхождение не должно превышать $\pm 2,0$ мм [9]. Если расхождение будет больше, то совмещение производят заново.

До установки рам на подготовлены места укладывают гидравлические домкраты, с помощью которых производится установка рам по высоте. Как и при установке цилиндров производится совмещение проектных рисок с главными осями; расхождение значение не должно превышать ± 5 мм в плано-высотном положении [8, 9]. Затем фундаментные шпильки устанавливаются в колодцы и путем поднятия или опускания домкратов производится выверка рам. Проектное высотное положение проверяется с помощью электронного или оптического высокоточного нивелира с точностью 0,3 мм. После этого с помощью тахеометра производится установка корпусов подшипников и цилиндров в плановое положение на фундамент. Затем переходят к выверке турбины.

Выверка турбины осуществляется несколькими способами: способом установки турбины по реакциям опор с применением динамометров или с применением оптических приборов [145]. В основном в настоящее время

применяют комбинированный способ, при котором используют и динамометры, и оптические приборы.

После выверки турбины производят второй цикл нивелирования. Это необходимо для выдачи рекомендаций о проведении центрировки роторов, т. к. деформация фундамента значительна и она влияет на значения центровок роторов [47]. Началом относительной стабилизации можно считать момент, когда величины деформаций не будут влиять на значения центровок. После этого приступают к проверке роторов и центрирование их по контрольным расточкам и полумуфтам.

Взаимное положение роторов и цилиндров высокого и среднего давления исправляют путем перемещения цилиндров относительно роторов в необходимом направлении. Для этого оба центрируемых ротора устанавливают в нулевое положение [9]. Перед началом замеров между торцами полумуфт роторов устанавливается зазор около 1 мм. Такой же зазор должен быть между фланцем полумуфты и скобой. При проверке центрирования роторов выполняются только торцевые замеры, т.к. в радиальном направлении полумуфты достаточно точно центрируются по расточкам. Допуск на смещение осей при наличии жесткой муфты не должен превышать 0,01 мм (при разности замеров по окружности 0,02 мм), допуск на торцевую расцентровку – 0,03 мм [47].

После центрирования роторов идет установка и центрирование диафрагм. Данный вид работ заключается в проверки их положения по отношению к ротору турбины после центрирования роторов.

После этого по окончании проверочных и пригоночных работ цилиндры закрывают. Затем идет сборка подшипников и их закрытие. Далее выполняется третий цикл нивелирования.

По завершению закрытия подшипников, строительная организация производит подливку фундаментных рам. Высота раствора бетона определяется с помощью тахеометра. Затем переходят к монтажу генератора. Конструкция турбоагрегата имеет одновальную компоновку и в этом случае паровая и газовая турбины находятся на одном валу с одним генератором.

Генератор расположен между двумя турбинами по ходу движения пара. Во время монтажа его ротор центрируют с ротором паровой турбины и ротором газовой турбины, а статор располагают концентрично относительно его ротора. Статор устанавливается в осевом направлении и проверяется его положение тахеометром, относительно поперечной оси заднего подшипника турбины. Точность установки статора от 1 до 2 мм [8, 9]. В поперечном направлении положение статора проверяют тахеометром, для чего измеряются расстояния от главной поперечной оси турбоагрегата до расточки статора справа и слева. Разность измеренных расстояний не должна быть больше ± 2 мм. После этого монтажная организация производит работы по установке ротора в статор. Затем проводится четвертый цикл нивелирования [111].

По завершению установки генератора переходят к установке паровой турбины в планово-высотное положение. Технология выполнения геодезических работ аналогична работам при монтаже газовой турбины. После установки газовой турбины выполняется пятый и шестой циклы нивелирования.

Затем переходят к монтажу конденсатора. Конденсатор устанавливается с помощью пружинной опоры на фундаментные рамы. Для установки конденсатора в проектное положение используется метод «свободной станции». Отклонение планово-высотного положения конденсатора от проектного значения не должно превышать $\pm 2,0$ мм [8]. Также с помощью тахеометра проверяется вертикальность опорных пружин для чего с помощью функции «горизонтальное положение» визирный луч наводится поочередно вверх опоры, а затем на низ опоры; расхождение значений не должно превышать ± 2 мм.

После установки конденсатора в проектное положение к нему присоединяется выхлопные патрубки турбины. На внутренне стороне патрубка имеются риски, соответствующие продольной и поперечной осям конденсатора. Затем производится их совмещение; расхождение значений не должно превышать ± 3 мм. Перед следующим этапом выполняют седьмой цикл высокоточного геометрического нивелирования. После анализа измерений

данные заносятся в каталог, и проверяется динамика изменения высотного положения фундаментной плиты.

Следующий этапом является установка насосов и вспомогательного оборудования (диффузор и деаэрактор). Все элементы устанавливаются с помощью тахеометра, методом «свободной станции» по методике, описанной ранее. После этого выполняется восьмой цикл нивелирования по верхней и нижней фундаментной плите. На основании полученных данных строится график деформаций плиты турбоагрегата. Перед пуском производится набор вакуума и веса воды и за сутки до пуска турбины выполняется девятый цикл нивелирования. После выдачи рекомендаций по осадке и деформации фундаментной плиты от всех нагруженных элементов турбоагрегата монтажная организация совместно с наладчиками приступают к пусковым работам.

2.10 Расчет изменения центровок роторов по геодезическим данным

Важной задачей при монтаже и последующей эксплуатации системы «турбоагрегат-фундамент-основание» (ТФО), является обеспечение своевременного анализа его деформаций [47]. На данном этапе основной целью высокоточного нивелирования является определение начала стабилизации положения системы ТФО, а значит и оси валопровода и выдача рекомендаций по окончательной центровке роторов, а на стадии эксплуатации – слежение за изменением значений этих центровок.

Переход от монтажа системы ТФО к ее постоянной эксплуатации приводит к изменению взаимного положения опор (подшипников) роторов особенно в условиях наличия вечномерзлых грунтов. Изменение взаимного положения опор приводит к изменению значений центровок роторов: раскрытие полумуфт и их взаимное смещение по окружности. Суммарная величина изменению взаимного положения опор будет равна [44, 45, 47]

$$\Delta = \Delta\delta_{ст} + \Delta\delta_{(t)}^{\phi} + \Delta\delta_{(t)}^y + \Delta\delta_{сез} + \Delta\delta_{дин}, \quad (2.15)$$

$$\Delta = \Delta_{cm} + \Delta_{(t)}^{\phi} + \Delta_{(t)}^{\psi} + \Delta_{сез} + \Delta_{дин}, \quad (2.16)$$

где δ_{cm} – статистическая деформация, вызванная общей осадкой фундамента турбоагрегата;

$\delta_{(t)}^{\phi}$ – температурная деформация фундамента вследствие общего изменения внешней температуры;

$\delta_{(t)}^{\psi}$ – деформация нижней части цилиндров, вызванная изменением их температуры при различных режимах работы;

$\delta_{сез}$ – сезонные деформации, обусловленные сезонным оттаиванием вечномерзлых грунтов и изменением режима вод;

$\delta_{дин}$ – динамическая деформация, вызванная следующими режимами работы турбоагрегата: валоповорот, набор веса воды и вакуума, пуск, рабочий режим, останов, и т. д.

Неравномерное перемещение опор роторов в вертикальной плоскости приводит к изменению значений центровок и в горизонтальной плоскости.

Для установления нормативных значений центровок роторов производится перемещение вкладышей подшипников или корпусов подшипников. Величина этих перемещений вычисляется по формулам [45, 47]

$$x_6 = (\delta_1 - \delta_3) \frac{L-l}{D} + \frac{a_1 - a_3}{2}; \quad (2.17)$$

$$x_2 = (\delta_2 - \delta_4) \frac{L-l}{D} + \frac{a_2 - a_4}{2}; \quad (2.18)$$

$$y_6 = (\delta_1 - \delta_3) \frac{L-l}{D} + \frac{a_1 - a_3}{2}; \quad (2.19)$$

$$y_2 = (\delta_2 - \delta_4) \frac{L-l}{D} + \frac{a_2 - a_4}{2}, \quad (2.20)$$

где L – расстояние от полумуфта до дальнего подшипника (рисунок 2.31);

l – расстояние между подшипниками;

a_1, a_2, a_3, a_4 – значение центровок по окружности, полученные при совместных поворотах ротора на $0^0, 90^0, 180^0$ и 270^0 .

Завод изготовитель задает формуляр, при котором допускаемое отклонение на раскрытие полумуфт роторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях равно, мм [44]

$$\delta_1 - \delta_2 \leq \pm 0,03. \quad (2.21)$$

В этом случае смещение одного конца ротора относительно другого равно

$$\Delta_{h,l} = \frac{\delta \cdot L}{D}, \quad (2.22)$$

где L – длина ротора;
 D – диаметр муфты.

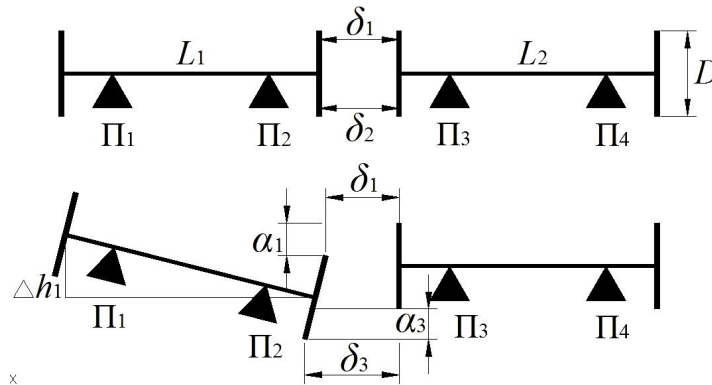
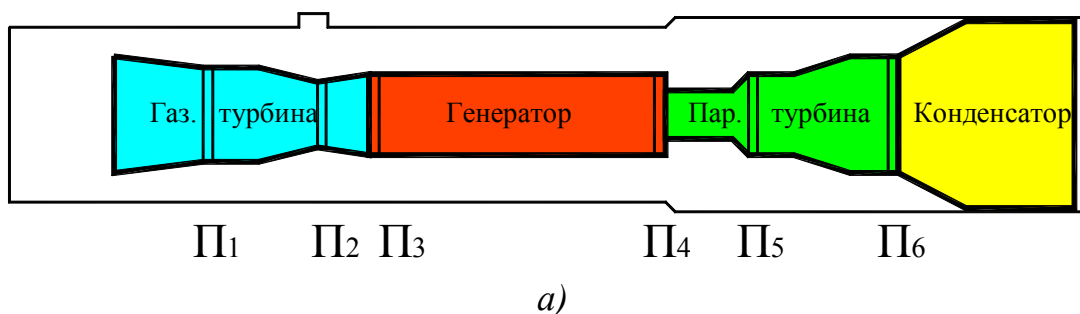


Рисунок 2.31 – К расчету изменений значений центровок роторов

Применительно к турбоагрегатам Няганской ГРЭС взаимное расположение подшипников приведено на рисунок 2.32. Для получения значений изменения центровок роторов необходимо проводить циклы высокоточного нивелирования, по маркам расположенным в районах подшипников (рисунок 2.33).



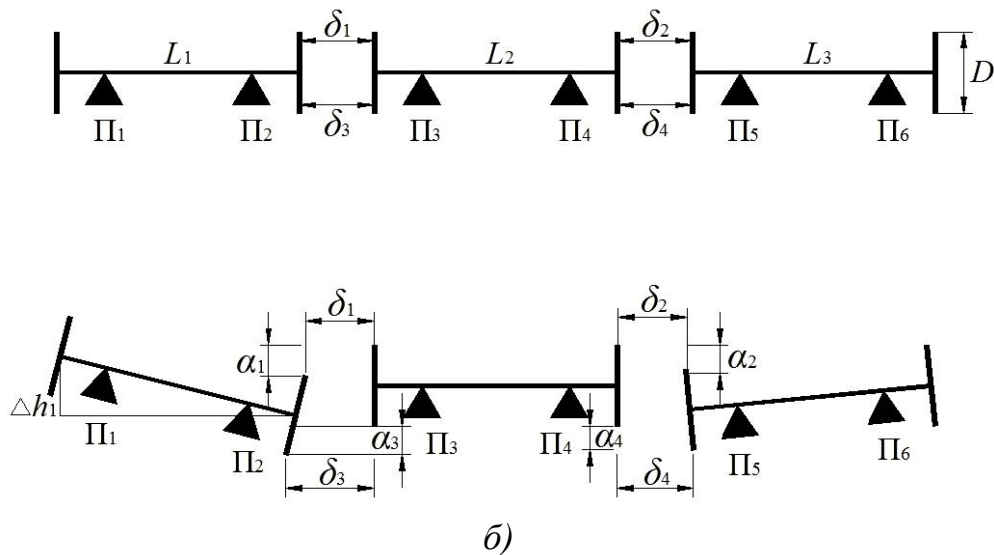


Рисунок 2.32 – Взаимное расположение подшипников турбоагрегата:

а) вид сверху; б) вид в разрезе

Для объективного суждения о величинах деформаций необходимо выполнить определенное количество циклов нивелирования (таблица 2.4). В результате такого анализа при монтаже первого пускового комплекса ПГУ выявлены незначительные деформации нижней фундаментной плиты в центральной ее части, произошедшие после монтажа всех основных узлов турбоагрегата.

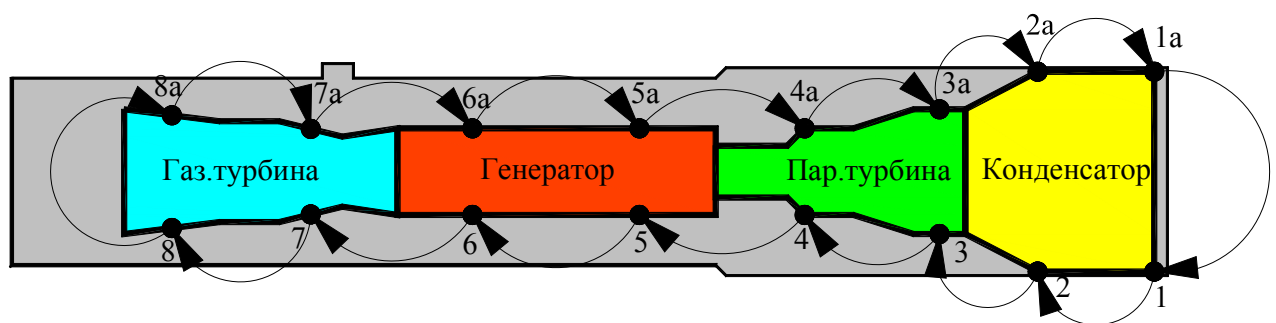
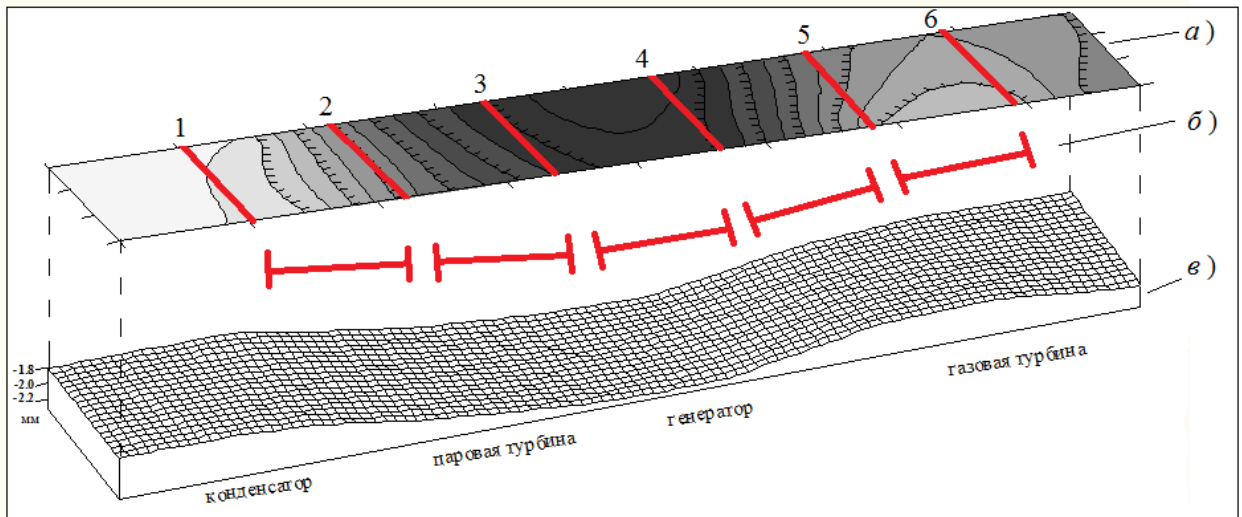


Рисунок 2.33 – Схема выполнения высокоточного нивелирования по фундаменту турбоагрегата Няганской ГРЭС

Величина прогиба плиты в районе генератора (относительно марок, расположенных в ее начале и конце) составляла от 1,8 до 2,2 мм (рисунок 2.34).



а) верхнее строение фундамента; б) линия валопровода;
в) нижнее строение фундамента

Рисунок 2.34 – 3D модель деформации фундаментной плиты и линии валопровода после завершения монтажа турбоагрегата

Данная модель позволяет достоверно и наглядно получить общую картину, происходящую с фундаментной плитой на разных этапах строительства, монтажа пусконаладочных работах и дальнейшей эксплуатации турбоагрегата.

Основные геодезические работы при пусконаладочных работах (ПНР) выполнены согласно, технологической схемы представленной на рисунке 2.35. По результатам полевых измерений после 72 ч после пуска турбины величина прогиба составила 1,2 мм. Что в свою очередь не окажет влияния на работу турбоагрегата. Допустимая величина стрелы прогиба фундамента турбогенератора при его длине более 40 м, вычисляется как $0,00015 \cdot L$, и составило 8,25 мм (за межремонтный период).



Рисунок 2.35. – Технологическая схема геодезического обеспечения при пусконаладочных работах системы ТФО

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

3.1 Состав инженерно-геодезических работ при строительстве башенной градирни

Для обеспечения геометрии возведения круглых инженерных сооружений необходимо провести целый комплекс инженерно-геодезических измерений [23, 79, 108]. На протяжении нескольких лет на атомных и тепловых электростанциях возобновилось строительство градирен параболической формы высотой до 180 м. Общий вид градирен показан на рисунке 3.1. В связи с этим возникает необходимость в совершенствовании существующей технологической схемы производства инженерно-геодезических измерений для обеспечения их возведения.



Рисунок 3.1 – Общий вид башенной градирни Няганской ГРЭС

Технологическая схема производства геодезических работ должна охватывать весь процесс строительства градирни, начиная с развития планово-высотного обоснования и заканчивая мониторингом деформационного состояния возводимой градирни.

При строительстве данного сооружения требуется определенная последовательность проведения строительного-монтажных работ на протяжении всех

этапов строительства. Соответственно, также требуется определенная последовательность проведения и инженерно-геодезических работ. При строительстве градирни на Няганской ГРЭС ними была применена следующая схема производства геодезических работ [108].

Основными этапами инженерно-геодезических работ при строительстве градирни являются (рисунок 3.2):

- создание плано-высотного обоснования на промплощадке и выполнение измерений на начальном этапе строительства;
- производство инженерно-геодезических работ при монтаже фундамента градирни;
- производство инженерно-геодезических работ при монтаже каркаса градирни и при проведении деформационного мониторинга.



Рисунок 3.2 – Состав инженерно-геодезических работ при строительстве градирни

Данные этапы инженерно-геодезических работ справедливы при возведении градирни любой высоты.

3.2 Методика выноса главных осей градирни

Начальный этап строительства градирни (рисунок 3.3) является составной частью общего процесса выполнения всех строительных работ на промплощадке. В связи с этим этап создания плано-высотного обоснования для обеспечения строительства градирни входит составной частью в общий объем геодезических работ на промплощадке [8]. Дополнительными инженерно-геодезическими работами являются работы по сгущению обоснования и производства работ непосредственно в процессе строительства градирни.

До начала выполнения работ по выносу главных осей и последующего производства строительно-монтажных работ необходимо выполнить проверку стабильности пунктов геодезического обоснования по методике, рассмотренной в 2.4.

После проверки стабильности пунктов геодезической основы промплощадки необходимо создать и сгустить обоснование в непосредственной близости от места выполнения геодезических работ согласно технологической схеме, приведенной на рисунке 3.3. Это необходимо потому, что геодезический контроль процесса возведения башни может производиться с пунктов плановой основы промплощадки (внешнего обоснования), а также с пунктов внутреннего (рабочего) обоснования. Внутреннее рабочее обоснование создается на дне бассейна [108].

Вынос главных, а также и основных осей под котлован производится относительно пунктов ОГП внешнего обоснования. Разбивка главных осей начинается с выноса на местность двух линий перпендикулярных друг другу. Вынос этих линий может производиться способом координат или методом «свободной станции».

При реализации первого способа тахеометр устанавливается на одном из пунктов ОГП, приводится в рабочее положение, после чего задаются координаты этого пункта.



(П – плановое положение; В – высотное положение)

Рисунок 3.3 – Технологическая схема инженерно-геодезических работ по созданию обоснования на начальном этапе строительства градирни

После этого зрительная труба тахеометра ориентируется на другой пункт ОГП и по проектным координатам отражателем выносится, а затем кольями

(длиной до 1,0 м) с вбитыми гвоздями с точностью от 2,0 до 3,0 мм фиксируется положение точки, соответствующее осям X и Y (рисунок 3.4), а также точки, соответствующей центру O градирни. Пересечение полученных осей X и Y будет являться центром O градирни (для контроля) [78, 108].

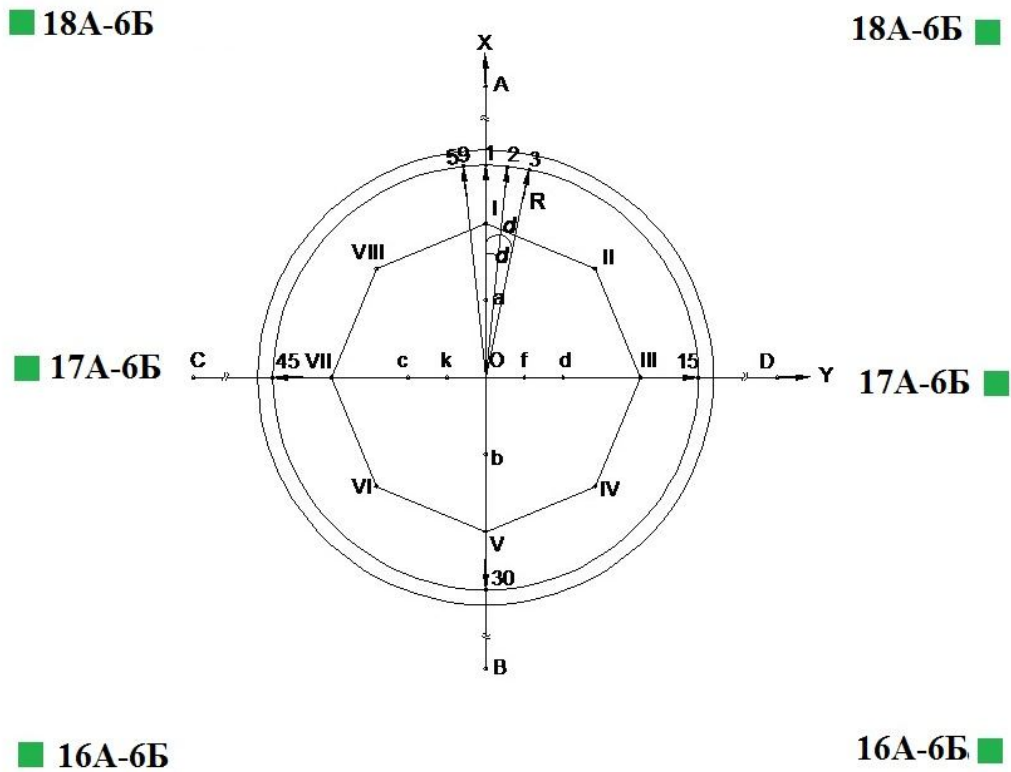


Рисунок 3.4 – Схема создания внешнего обоснования и внутреннего рабочего обоснования

При реализации второго способа сначала находится (выносится) центр O градирни, а затем оси X и Y . Для этого тахеометр устанавливается примерно в центр O и по координатам трех-четырех пунктов внешнего обоснования способом обратной линейно-угловой засечки двумя-тремя приближениями с ошибкой 2-3 мм окончательно находится положение центра O .

После закрепления главных осей X и Y и предварительного закрепления центра O их пересечения (центра вытяжной башни) производится вынос пунктов A , B , C и D . Для этого над центром O устанавливается высокоточный тахеометр, зрительная труба которого поочередно визируется на точки закрепления осей и

на продолжения этих осей створным способом намечаются и затем закрепляются постоянные пункты A , B , C и D . Положение пунктов должно обеспечивать хорошую видимость на строящуюся вытяжную башню. Конструкция пунктов A , B , C и D также должна обеспечивать принудительное центрирование тахеометра и спутникового приемника. Расстояния между центром O и центрами пунктов A , B , C и D должны находиться в пределах от 200 до 300 м и они дополнительно измеряются с ошибкой от 1,0 до 2,0 мм. После этого над центром O с ошибкой не более 1,0 мм снова центрируется тахеометр и измеряются углы α с ошибкой от 2,0" до 3,0" между центрами этих пунктов.

Влияние ошибки центрирования прибора вычисляется по формуле [73]

$$m_{\text{ц}} = \frac{e}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{S_{1-2} - S_{1-A}}{S_{1-2}} \right)^2}, \quad (3.1)$$

где e – ошибка центрирования прибора;

S_{1-2} – расстояние между исходными пунктами.

Если отличие этих углов от 90° не превосходит от 2" до 3", то положение этих пунктов принимается за окончательное.

Так как при выполнении работ на пунктах A , B , C и D будет устанавливаться тахеометр или спутниковый приемник, то над ними рекомендуется установить временный навес.

После окончательной установки пунктов A , B , C и D с помощью высокоточного тахеометра производится определение (вычисление) с точностью от 2 до 3 мм их условных координат с началом в центре O градирни. При этом координаты центра O удобно принимать равными $X=1000,000$ м и $Y=1000,000$ м.

3.3 Методика производства работ на нулевом этапе строительства

Разбивочные работы на нулевом этапе строительства включают в себя разбивку контура котлована, вынос главных осей фундамента башенной градирни, перенос главных осей и высотной основы на дно котлована и сооружения свайного поля [78, 108].

Разбивку границ котлована и вынос главных осей удобно производить тахеометром с установкой его над центром O градирни.

При разбивке границ котлована через 3° производится откладывание расстояний с ошибкой от 10 до 15 мм, равных проектному внешнему радиусу котлована, и закрепление полученных точек кольями длиной от 50 до 70 см. Разбивка границ производится регулярно, так как во время рытья котлована по различным причинам колья постоянно уничтожаются.

Вынос (перенос) осей на дно котлована производится координатным (полярным) способом.

Средняя квадратическая ошибка выноса любой точки может быть вычислена по формуле [68, 73]

$$m_p = \sqrt{m_u^2 + \frac{S_{np.}^2}{\rho^2} m_\beta^2 + m_s^2 + m_\phi^2}, \quad (3.2)$$

где m_u – средняя квадратическая ошибка исходных данных.

Средняя квадратическая ошибка исходных данных вычисляется по формуле [72]

$$m_u = \sqrt{(1,5 + 0,5k^2 - k \cos\beta)m_1^2 + 0,5k^2 m_\beta^2}, \quad (3.3)$$

$$k = \frac{S_{np.}}{S_{исх.}}, \quad (3.4)$$

где m_1 – средняя квадратическая ошибка положения исходного пункта;

$S_{np.}$ и $S_{исх.}$ – расстояния до выносимой точки и между исходными пунктами, соответственно.

Средняя квадратическая ошибка m_ϕ фиксации выносимой точки равна от 0,5 до 1,0 мм. Согласно формуле (3.2) при $m_u = 2,0$ мм, $m_s = 2,0$ мм + 1,0 мм/км, $m_\phi = 2,0$ мм, $\rho = 206265''$, $m_{u.p.} = 1$ мм, $m_\beta = 2,0''$ получим $m_p = 3,5$ мм.

По окончании разбивочных работ по выносу в натуру осей и границ котлована производится исполнительная тахеометрическая съемка с

последующей камеральной обработкой.

После планировки дна котлована производятся геодезические работы под устройство свайного поля. Разбивка свайного поля также необходимо производить при установке тахеометра в центре O . После этого по выбранному створу откладываются проектные расстояния до центров свай. Сваи, расположенные в виде куста, разбиваются с помощью шаблона. При этом определяется расположение свай по углам куста, а промерами от углов определяется внутреннее положение свай в кусте.

Допустимое отклонение свай в плане с учетом их возможного неперпендикулярного погружения не должно превышать для свайных полей $0,4 \cdot D$, где D – диаметр сваи, но не более 40 см. С более высокой точностью устанавливаются крайние ряды свай. При отклонении их от проектного положения расстояние от сваи до края ростверка должно быть $0,15 \cdot D$, но не более 50 мм.

После забивки свай обязательно необходимо произвести планово-высотную съемку всего свайного поля. Для этого тахеометр устанавливается на одной из осей (X или Y) на одном краю котлована, после чего и производится съемка половины или некоторой части свайного поля. Затем тахеометр переносится на противоположную сторону, где производится съемка и другой половины котлована.

После завершения геодезических работ по сооружению свайного поля необходимо произвести контроль выполненных строительных работ, который включает в себя контроль планово-высотного положения опалубки, арматурного каркаса, положения анкерных устройств, анкерных болтов и закладных деталей до и после бетонирования на фундаменте плиты градирни водосборного бассейна со стенками и вытяжной башней. Перед монтажом опалубки производится контроль размеров ее отдельных элементов.

После установки всех конструктивных элементов опалубки производится укладка арматурного каркаса по высоте; высотное положение каркаса определяется нивелиром. Далее производится установка закладных частей и анкерных болтов, для чего выносятся продольные и поперечные разбивочные оси.

Рассчитаем точность выноса осей с использованием формулы [68, 130]

$$m_p^2 = m_l^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 l^2 + m_{u.p.}^2 + m_u^2 + m_\phi^2. \quad (3.5)$$

Согласно формуле (3.5) при $m_u = 2,0$ мм, $m_l = 2,0$ мм + 1,0 мм/км, $m_\phi = 2,0$ мм, $\rho = 206265''$, $m_{u.p.} = 1$ мм, $m_\beta = 2,0''$ получим $m_p = 3,5$ мм.

Проверка плано-высотного положения анкерных болтов производится с помощью тахеометра путем плановой их привязки и сравнения их положения с проектным положением. Установка и выверка анкерных болтов является наиболее трудоемкой работой из всех разбивочных работ. Каждый анкерный болт должен быть установлен в проектное положение с допуском отклонением не более ± 5 мм. Установка анкерных болтов и закладных частей по высоте необходимо производить с применением нивелира. При этом должен быть дан некоторый запас по высоте на усадку бетона, примерно 0,3 мм на каждый метр толщины фундамента. Окончательно установленные анкерные устройства жестко закрепляют гайками, а концы их привариваются к каркасу или арматуре, чтобы при бетонировании их положение не нарушалось.

Перед началом бетонирования производится плано-высотная съемка всех конструктивных элементов опалубки, ее характерные точки, углы, края, положение анкерных болтов и закладных деталей. Во время бетонирования также контролируется положение указанных элементов. На рисунке 3.5 представлена технологическая схема монтажа фундамента градирни.

После завершения бетонирования главные и основные оси, закрепленные на местности и на обноске, переносятся на фундамент. Перенос осей производится с помощью тахеометра, который устанавливается в створе данной оси (по соответствующим знакам ее закрепления) при двух кругах.

По окончании переноса осей окончательно определяется (фиксируется) центр O градирни на фундаменте, который с ошибкой, не превышающей величины от 2,0 до 3,0 мм, закрепляется кернением на металлической пластине. Центр градирни является начальным и основным знаком внутренней

разбивочной сети (рабочего обоснования), относительно которого производится обеспечение геометрии возводимой градирни и прилегающего к ней вспомогательного оборудования.



Рисунок 3.5 – Технологическая схема монтажа фундамента башенной градирни

К такому вспомогательному оборудованию относятся круговые рельсовые пути, которые охватывают градирню в секторе 270° . Поэтому на данном этапе строительства, когда еще есть открытая видимость из центра O градирни, необходимо вынести центр кругового рельсового пути. Дальнейший монтаж колоннады и металлоконструкций градирни осуществляется с помощью крана, перемещающегося по этому рельсу вокруг градирни.

3.4 Разработка технологической схемы разбивки и установки круговых рельсовых путей

Возведение башенных градирен может производиться двумя способами:

- путем монтажа металлоконструкций с помощью крана, перемещающегося по круговому рельсовому пути вокруг градирни (рисунок 3.6);
- путем монтажа металлоконструкций или перемещения скользящей опалубки краном, установленным в центре градирни (рисунок 3.7).

Так при строительстве башенной градирни первого пускового комплекса НГРЭС нами [131] использовался первый способ с применением крана БК-1000 установленного на рельсовый ход, сами рельсы уложены вокруг градирни.

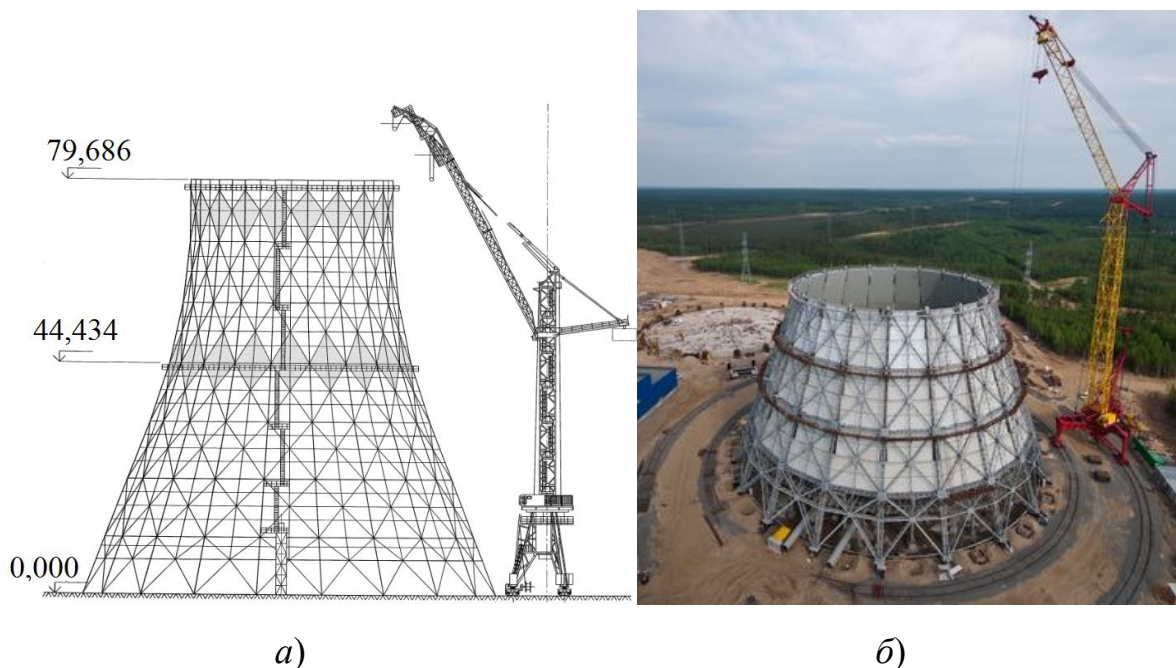


Рисунок 3.6 –Расположение башенной градирни и крана БК-1000:

a) в проекте; *б)* в натуре

На Няганской ГРЭС кран БК-1000 опирается на рельсовые пути тремя шестиколесными телегами, которые перемещаются по двум сдвоенным парам рельсов с шириной калии равной 13,5 м. Для безопасного хода башенного крана под каждую пару рельсов укладывается свой уплотненный балластный слой, который состоит из хорошо уплотненного щебня, шлака и гравия [131]. Балластный слой устанавливается на подготовленную земляную площадку, с поперечным уклоном 0,010 ‰ в сторону отвода воды от градирни.

После возведения балластного слоя на него укладываются деревянные или железобетонные шпалы, на которые в свою очередь укладываются две пары рельсов. Рельсовые стыки располагаются между шпалами, а их стыковка по длине друг с другом производится с помощью стандартных накладок. Для ускорения установки верхнего строения рельсовых путей используются сборные инвентарные секции (звенья), которые укладываются на балластный слой и стыкуются между собой [29, 110, 131].

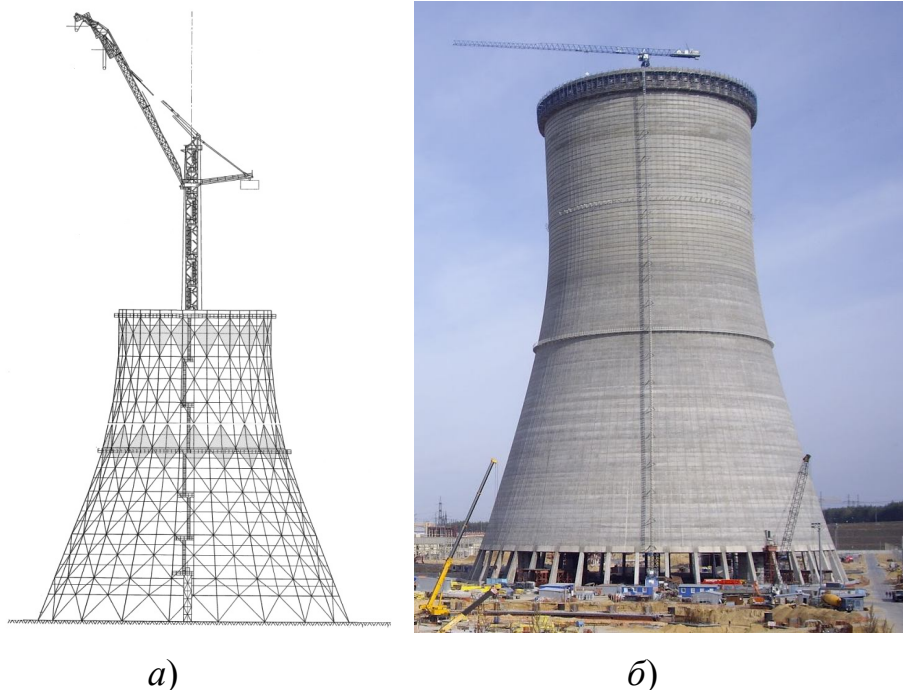


Рисунок 3.7 – Общий вид строительства башенной градирни путем перемещения скользящей опалубки краном, установленным в центре градирни:

a) в проекте; *б)* в натуре

К планово-высотному положению рельсов путей предъявляются следующие требования (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – «Предельные» значения параметров крановых путей

Геометрический параметр	Предельное значение
1. Продольный и поперечный уклон на криволинейных участках	0,003
2. Отклонение размера колеи (при укладке), мм	± 10
3. Взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов, мм	
по высоте	3
в плане	2
4. Зазор в стыке (при $t + 20^\circ\text{C}$), не более, мм	6
5. Отклонение в расстоянии между осями подкрановых рельсов (при укладке), мм	5

Для обеспечения процесса укладки рельсов нами предлагается обеспечивать геометрию кругового рельсового пути одним из рассматриваемых ниже способов [131].

Способ полярных координат. Данный способ применяется на начальных этапах возведения градирни, когда обеспечена хорошая видимость из центра O градирни на монтируемые рельсовые пути. При этом большая часть строительномонтажных работ по устройству бетонного основания фундаментной плиты, закончены, а работы связанные с возведением стен водосборного бассейна не начаты [108, 131].

Согласно техническим требованиям радиус внутренней оси крановых путей равен 46000 мм, а внешний – 59500 мм, расстояние между осями должно быть равно 13500 мм.

Для установки рельсовых путей по окружности проектного радиуса, тахеометр устанавливается в центр O строящейся градирни. Далее тахеометр приводится в рабочее положение и выполняется ориентирование прибора по направлению первой главной оси градирни (рисунок 3.8). Для простоты измерений по данному направлению задается равным $00^\circ 00' 00''$. Затем, с помощью метода последовательных приближений, в заданном направлении по проектному расстоянию, выносятся и закрепляются на местности точки оси внутренней и внешней пары рельсового пути. Далее по горизонтальному кругу тахеометра

откладывается угол в 6° и вынос точек круговых осей внутренней и внешней пары рельсового пути повторяется, до замыкания горизонтального круга тахеометра на 360° [108, 131]. Допустимое отклонение отсчета по горизонтальному кругу от нуля, при визировании на начальное направление, не должно превышать $20''$ [113].

Далее проверяется расстояние (ширина колеи l) между осями круговых рельсов, с помощью стальной компарированной рулетки или лазерной рулетки. По окончании выноса осей и выполнения контрольных измерений производится укладка рельсового пути от вынесенных осей.

Вынос осей пар круговых рельсов полярным способом может производиться и по другой схеме. Для этого с центра O гравирни выносятся на местность не оси внутренней и внешней пары рельсов, а срединная ось пути (рисунок 3.8). После этого от этой оси путем отложения расстояний, равных половине ширины колеи ($l/2$), определяется положение осей внутренней и внешней пар рельсов.

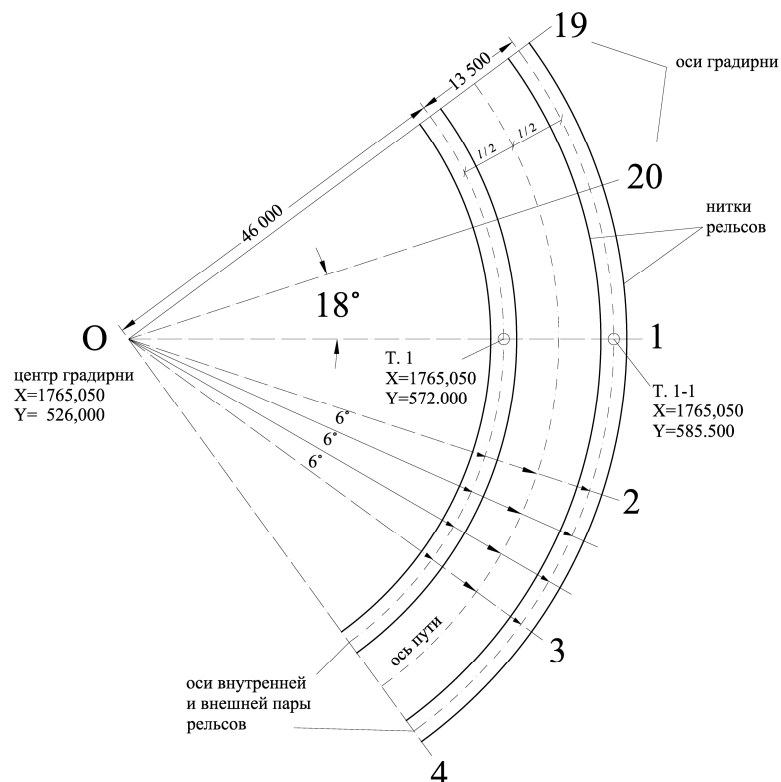


Рисунок 3.8 – Технологическая схема установки внешней и внутренней пары рельсового пути крана БК-1000

Выбор схемы реализации способа полярных координат зависит от ситуации вокруг градирни, в основном, от размещения конструкций в непосредственной близости от градирни, которые препятствуют выполнению измерений.

После установки внешней и внутренне пары рельсового пути в проектное положение проверяется их взаимное пространственное положение. Контроль осуществляется тахеометром, измеряется расстояние между рельсами, которое равно 1590 мм. Размер ширины колеи проверяется с помощью стальной рулетки, на всем протяжении рельсового пути.

Способ координат. При применении данного способа предварительно в AutoCAD помещается проектный чертеж рельсового пути градирни в координатную сетку. Далее составляется схема с плановыми координатами пересечения главных осей градирни с осями рельсового пути (точки Т.1 и Т.1-1 на рисунке 3.8). После определения пространственных координат производится разбивка осей симметрии рельсовых путей [131]. Для этого тахеометр центрируется над центром O градирни, зрительная труба ориентируется на пункт с известными координатами, после чего производится детальная разбивка этих осей не реже чем через 6° [110].

В процессе строительства градирни центр O оказывается недоступен для установки тахеометра и возникают трудности в разбивке осей симметрии рельсовых путей. Для решения данной задачи используется метод «свободной станции». Тахеометр устанавливается в любом месте промплощадки в непосредственной близости от внутренней или внешней стороны водосборного бассейна градирни, определяются пространственные координаты станции путем решения обратной линейно-угловой засечки. Средне квадратическая ошибка рабочей станции, вычисляется программным обеспечением тахеометра и составляет в плановом положении 2 мм, а в угловом $10''$ [131].

Положение осей укладки рельсового пути может определяться промерами от уже вынесенных осей симметрий. Для этого рельсы с помощью домкратов устанавливаются в проектное положение. Контроль за перемещение рельсов в проектное положение ведется с помощью тахеометра и отражателей. В качестве

отражателей применяются мини-призмы и отражательные пленки. Зрительная труба тахеометра наводится на отражатель, установленный на центре рельсового пути, и в режиме съемки берется отчет. Затем сравниваются полученные координаты с проектными значениями, контролем служит расхождение не превышающие 2 мм в плане и 5 мм по высоте.

Во время возведения крупного промышленного объекта для ускорения темпов строительства на территории промплощадки одновременно выполняют работы большое количество подрядных организаций, занимающихся различными видами строительно-монтажных работ. Это в свою очередь влечет за собой выполнения нескольких параллельных этапов строительства. Например, при возведении градирни одновременно ведутся работы по установки подводящих коммуникаций к ней, что тормозит и препятствует возведению подкрановых путей крана БК-1000. В связи с этим установка пары рельсовых путей производится по секторам [131].

На рисунке 3.9 изображена технологическая схема установки рельсового пути по секторам.

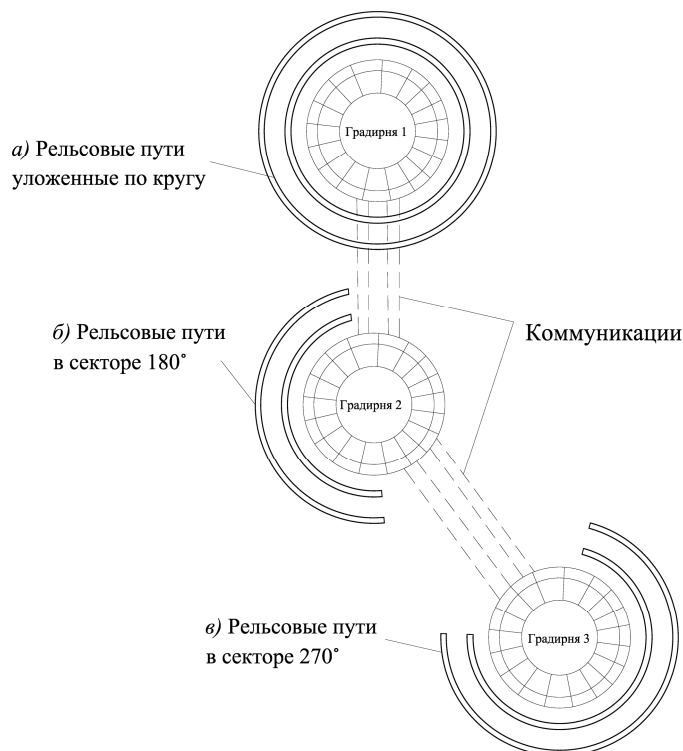


Рисунок 3.9 – Технологическая схема установки рельсового пути:

а) по кругу; б) в секторе 180°; в) в секторе 270°

В том случае, когда коммуникации укладываются после возведения градирни, то рельсовые пути устанавливаются по кругу (рисунок 3.9, а). Если коммуникации подводятся к градирне с двух сторон, то рельсовые пути устанавливаются в секторе 180° (рисунок 3.9, б). Установка рельсового пути в меньшем секторе ($<180^\circ$) недопустима из-за того, что длины вылета стрелы крана БК-1000 не хватит для безопасной установки металлического каркаса градирни. Наиболее распространенный способ укладки рельсового пути в секторе 270° , его можно применять совместно с возведением градирни (рисунок 3.9, в) [131]. Контроль геометрических параметров рельсового пути ведется на всем протяжении эксплуатации крана БК-1000, с периодичностью указанной в нормативных документах [29, 110].

3.5 Геодезическое обеспечение возведения градирни с металлическим каркасом

Разработка технологической схемы возведения градирни с металлическим каркасом. После выноса главных осей градирни и укладки круговых рельсов необходимо создать внутреннее рабочее обоснование, которое будет использоваться при обеспечении геометрии градирни при ее возведении. Это обоснование удобно создавать на дне водосборного бассейна [108]. В последующем указанное обоснование будет использоваться для создания еще одного обоснования на уровне первого яруса градирни.

В целом комплекс геодезических работ при возведении градирни с металлическим каркасом (вытяжной башни) включает в себя [92, 108]:

- создание рабочего (исходного) обоснования на днище бассейна;
- вычисление координат колоннады и точек каждого яруса градирни;
- контроль геометрических параметров укрупненных элементов градирни;
- производство геодезических измерений при установке укрупненных элементов градирни;
- производство исполнительной съемки.

Так как местные отклонение радиуса от проектного значения для каждого яруса не должны превышать 50 мм, то предельная средняя квадратическая ошибка

производства геодезических измерений (определения радиуса) не должна быть больше 17,0 мм, а средняя квадратическая ошибка не более 7,0 мм.

На рисунке 3.10 представлена технологическая схема геодезического обеспечения монтажа металлического каркаса градирни.



Рисунок 3.10 – Технологическая схема геодезического обеспечения монтажа металлического каркаса градирни

Из этого следует, что для выполнения измерений должны применяться:

– высокоточные тахеометры, обеспечивающие ошибку измерения расстояния, в том числе и в безотражательном режиме (с применением только светоотражающих плёнок), и углов с точностью, соответственно, от 1 до 2 мм и от 1" до 2"; при измерении расстояний в безотражательном режиме измеряемые расстояния

(приращения координат) не должны быть больше 100 м;

- призмённые отражатели и светоотражающие пленки ОП-60;
- двухчастотные спутниковые приемники;
- оптические или лазерные приборы вертикального проецирования;
- нивелир типа НЗ с комплектом реек;
- металлические и лазерные рулетки;
- трегеры с адаптерами;
- две – три вехи длиной 2,5 м;
- цилиндрические уровни с ценой деления до 60";
- окулярные угловые насадки;

Как уже указывалось в 3.4, возведение градирни может производиться при помощи крана, перемещающегося вокруг градирни или расположенного по ее центру. В связи с этим для этих двух вариантов возведения градирни необходимо применять соответствующую методику измерений. Это обусловлено тем, что установленный в центре градирни башенный кран препятствует выполнению соответствующих геодезических измерений.

Контроль геометрических параметров укрупненных элементов градирни.

Форма стальной металлической градирни имеет вид усеченной пирамида до отметки 33175 м, выше – тороид вращения [92]. Стальной несущий каркас башни по высоте разбит на семь ярусов, а в плане на 20 граней. Каркас собирается из 140 укрупненных элементов градирни (укрупненных марок). Каждая такой элемент делится на семь типоразмеров. Конструктивное решение каркаса градирни подчинено возможности монтажа укрупненными монтажными секциями, равными по высоте одному ярусу, а по ширине одной грани. На рисунке 3.11 показан монтаж первого яруса башенной градирни НГРЭС.

Пространственная жесткость каркаса обеспечивается угловыми стойками, горизонтальными кольцами и диагональными связями, располагаемыми в каждой укрупненной монтажной секции.



Рисунок 3.11 – Монтаж первого яруса башенной градирни НГРЭС

На рисунке 3.12 представлена схема укрупненной секции. Согласно требованиям [117] изготовления укрупненных секций расхождение проектных и фактических размеров не должна превышать ± 5 мм.

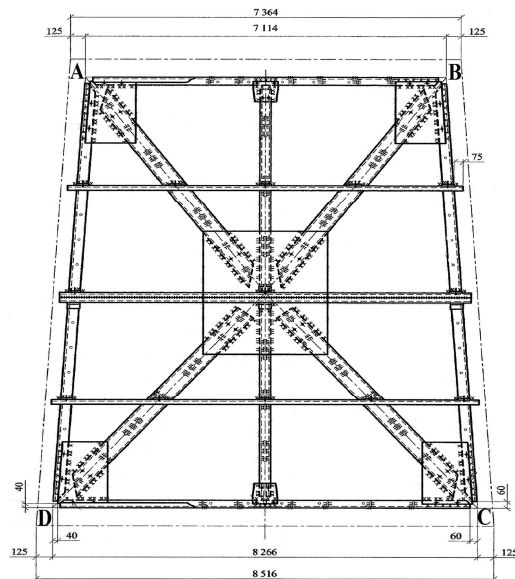


Рисунок 3.12 – Пример сборной укрупненной марки

Для обеспечения на монтажной площадке входного контроля укрупненных секций нами на Няганской ГРЭС была разработана и применена методика, основанная на использовании высокоточного тахеометра. Эта методика позволяет производить контроль основных размеров и диагоналей сборных элементов укрупненных секций. Исходя из величины допуска на изготовление, средняя квадратическая ошибка измерений не должна быть больше от 1,5 до 2,0 мм.

Сборка укрупненных секций производится из заводских элементов непосредственно на монтажной площадке, располагаемой возле градирни. Для реализации предлагаемой методики применяется стенд, который в простейшем случае представляет собой бетонную площадку, на которую укладываются все сборные элементы укрупненной секции. Укладка укрупненной секции может производиться вертикально (стоя или боком) или горизонтально.

Если укрупненная секция установлена вертикально (рисунок 3.13, *а, в*), то методика проверки геометрических параметров следующая. Тахеометр устанавливается рядом с конструкцией секции, после чего задаются условные координаты станции. Затем поочередно в безотражательном режиме с ошибкой 1,0 мм определяются координаты точек А, В, С, D. Положение точек А, В, С, D задается одинаковым относительно вершин секции. Для повышения точности определения координат точек А, В, С, D измерения производится не менее трех раз.

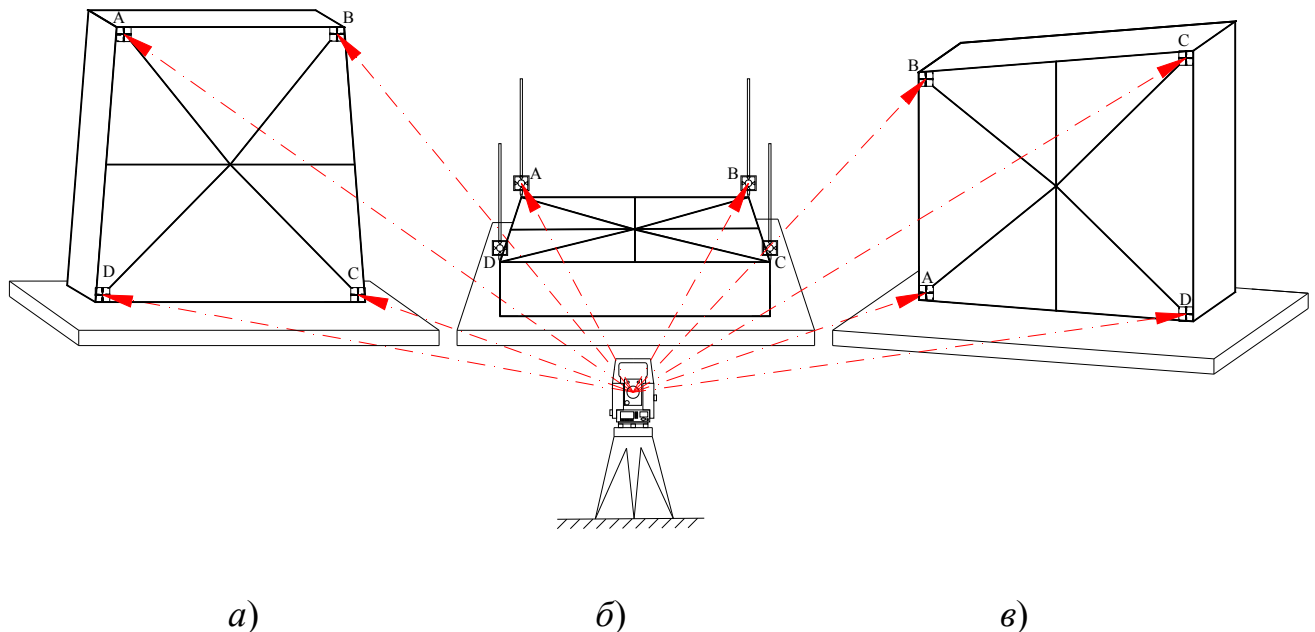


Рисунок 3.13 – Схема проверки геометрических параметров укрупненной секции при укладке: *а, в*) вертикальное положение);
б) горизонтальное положение

После этого производится вычисление расстояний АВ, ВС, CD, DA и диагоналей AC, BD со следующим сравнением полученных промеров с проектными

данными. Если измеренные расстояния и диагонали находятся в допуске, то переходят к окончательной сварке и креплению основных элементов укрупненной секции. В противном случае сборные элементы укрупненной секции подвергаются рихтовке, после чего измерения повторяются вновь.

Если укрупненная секция располагается горизонтально, то методика проверки геометрических параметров следующая. Тахеометр устанавливается рядом с конструкцией, так чтобы с одной станции можно было выполнить определение координат всех точек (А, В, С и D). После введения условных координат (например, $X=100,000$ мм и $Y=200,000$ мм), с помощью мини-призмы путем ее поочередного переноса выполняется определение координат указанных точек (рисунок 3.13, б). После этого вычисляются расстояния АВ, ВС, CD, DA, диагонали AC, BD и производится сравнение полученных результатов с проектными данными.

Для повышения точности измерений применяется стенд, который представляет собой площадку, на которой располагаются подпорные стаканы (рисунок 3.14).

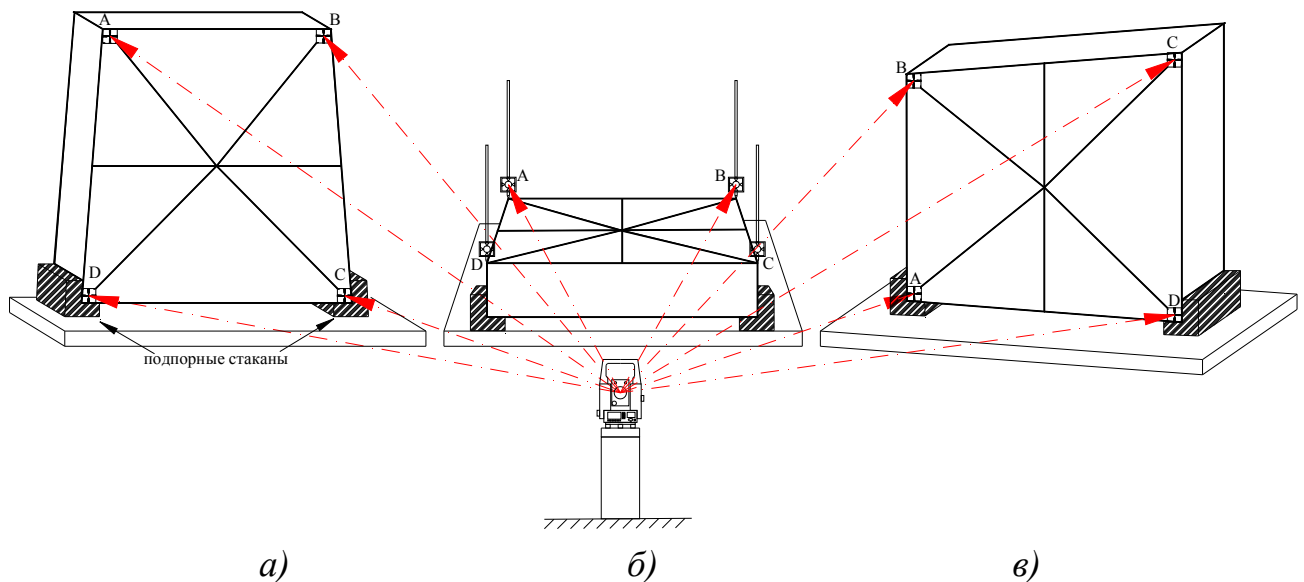


Рисунок 3.14 – Схема проверки геометрических параметров укрупненной секции с использованием подпорных стаканов, при укладке:

а, в) вертикальное положение; б) горизонтальное положение

Подпорные стаканы, которые исполняют роль шаблона, устанавливаются по проектным размерам определенного типа укрупненной секции. После этого все сборные элементы укрупненной марки укладываются в эти стаканы. Элементы укрупненной марки укладываются в подпорные стаканы, расположенные в вершинах четырех углов. Для удобства нами предложено использовать пункт установки тахеометра по средствам жесткого центрирования, что позволяет повысить скорость проверки укрупненных секций. Методика поверки такая же, как и в первом случае.

После окончательной выверки геометрических параметров секции происходит сварка их всех на соответствующих ярусах [92]. Для этого секции соединяют друг с другом через крестовые узловы вставки, а затем с помощью крана она поднимается на положенный ярус. Каждый ярус вытяжной башни градирни имеет радиус (рисунок 3.15).

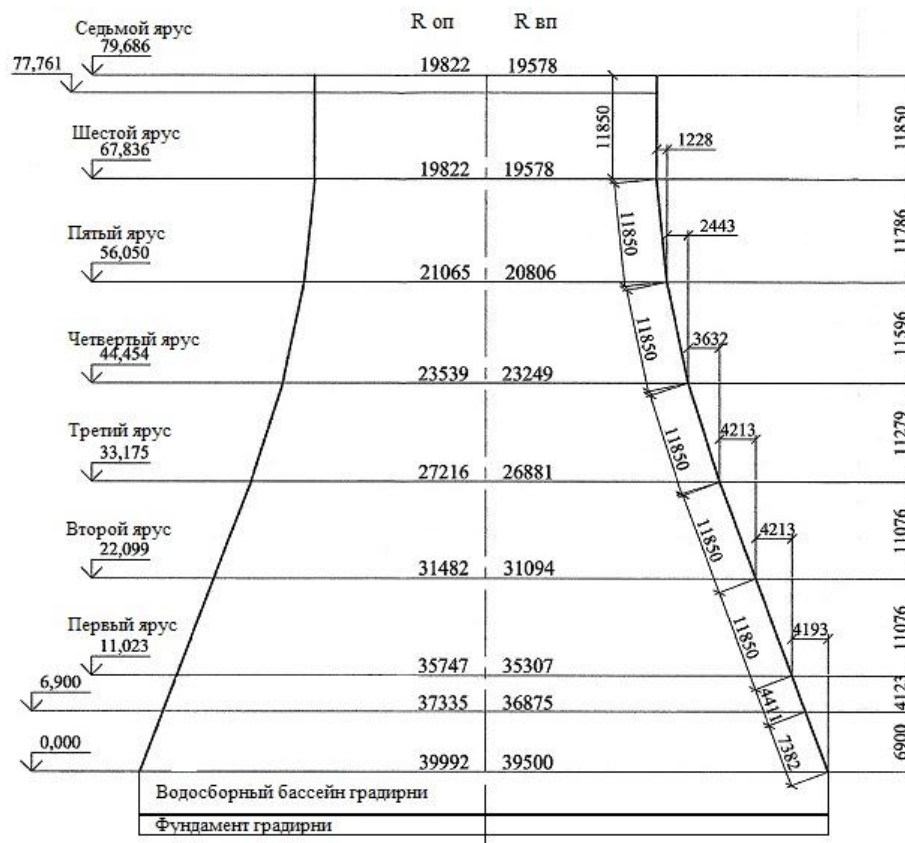


Рисунок 3.15 – Геометрическая схема каркаса вытяжной башни градирни:

$R_{оп}$ – проектный радиус описанной окружности градирни;

$R_{вп}$ – проектный радиус вписанной окружности градирни

Каждый ярус имеет нижнее и верхнее сечения. У первого яруса верхнее сечение совпадает с нижним сечением второго яруса и таким образом до седьмого яруса. Высота каждой укрупненной секции не должна превышать ± 5 мм относительно проектной высоты и в сечении яруса [117]. Из рисунка 3.15 видно, что расстояния от центра градирни до характерных точек укрупненной марки, измеряются по вписанному и описанному радиусу градирни. Например, первый радиус имеет высоту равную 11023 м, в верхнем сечении расстояние по $R_{\text{оп}}$ равно 35747 м, а по $R_{\text{вп}}$ равно 35307 м (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Верхнее сечение первого яруса градирни

Монтаж укрупненных секций последующего яруса можно производить только после выверки и заварки всех монтажных соединений предыдущего яруса, включая соединительную решетку и планки. Установка секции в проектное положение на каждом ярусе производится с пунктов рабочего обоснования.

Схема создания рабочего обоснования и монтажа секций градирни с пунктов внутреннего и внешнего рабочего обоснования. Для проведения геодезических измерений с целью обеспечения геометрических параметров возводимой градирни необходимо развить рабочее обоснование [108]. Это обоснование может быть создано снаружи градирни и внутри ее.

В качестве внешнего рабочего обоснования могут служить пункты ОГП, расположенные в непосредственной (от 150 до 200 м) близости от возводимой градирни. Если эти пункты расположены дальше, то способом координат или решением обратной линейно-угловой засечки со средней квадратической ошибкой от 2,0 до 3,0 мм производится сгущение до указанного расстояния.

Внутреннее рабочее обоснование удобно создавать на железобетонном полу или на стенке водосборного бассейна.

В первом случае создание обоснования производится после заливки пола бассейна. Для этого в полу путем сверления устанавливаются геодезические пункты в количестве от 10 до 15 штук, которые представляют собой металлические стержни толщиной от 30 до 40 мм и длиной до 100 мм. После этого на них передаются координаты с внешнего обоснования.

Для передачи обоснования рядом с предполагаемым центром градирни Ст. 1 (рисунок 3.17, а) устанавливается тахеометр и путем решения обратной линейно-угловой засечки от трех пунктов внешней сети (в нашем случае от пунктов 18А-4Б, ОГП-7 и ОГП-8) с ошибкой от 2,0 до 3,0 мм определяются координаты точки его стояния. Затем с помощью мини-призмы производится определение координат пунктов рабочего обоснования, а так же центра градирни.

После для контроля тахеометр устанавливается на Ст. 2 и измерения повторяются. Если расхождения координат не превышают 1,5 мм, то за окончательное их значение принимается среднее из полученных величин.

Затем от этих пунктов выполняется разбивка и установка стен водосборного бассейна, коллонады опор первого яруса градирни и анкерных устройств осей градирни.

При проведении строительно-монтажных работ пункты обоснования, расположенные в полу, будут закрываться или уничтожаться. Поэтому для увеличения количества пунктов рабочего обоснования и повышения мобильности метода свободной станции по завершению монтажа стен водосборного бассейна на них устанавливаются пункты в виде светоотражающих пленок, на которые переносится рабочее обоснование.

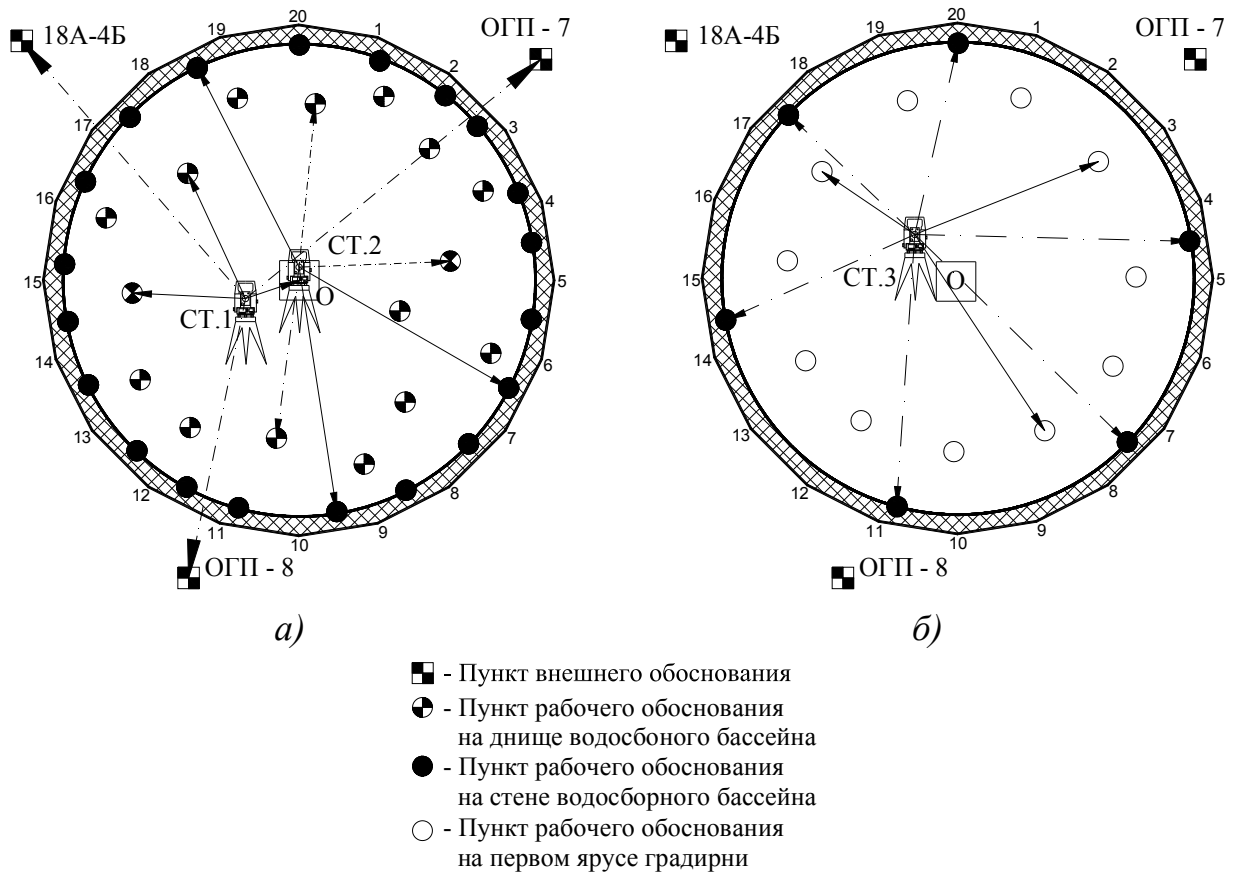


Рисунок 3.19 – Создание рабочего обоснование внутри градирни

a) на дне и стене, б) на монтажном горизонте первого яруса

Перенос координат осуществляется от пунктов рабочего обоснования, расположенных на полу бассейна (рисунок 3.17, а). Для этого тахеометр центрируется над центром градирни и решением обратной линейно-угловой засечки от трех-пяти пунктов рабочего обоснования, расположенных на полу градирни, определяются координаты станции. Расхождение с координатами центра не должны быть больше 2,0 мм. После этого в режиме съемки определяются координаты всех отражающих пленок, расположенных на стене бассейна.

Монтаж первого яруса начинается с получения исходных данных в программном продукте AutoCAD. Этими данными являются координаты углов укрупненных секций или расстояния от центра градирни до этих углов. Для однозначной фиксации точек визирования используются пластины одного размера с отражающими пленками, которые прикрепляются к углам секций (рисунок 3.18).

При расчетах координат или расстояний учитывается размер пластин с

отражающей пленкой. После подъема секции на ярус производится их установка в проектное положение; расхождение длин проектных и фактических радиусов не должно превышать ± 5 мм [116, 117]. Если указанный допуск выдержан, то производится окончательная сборка и закрепление секции на ярусе. По окончании монтажа всех секций производится исполнительная съемка яруса.

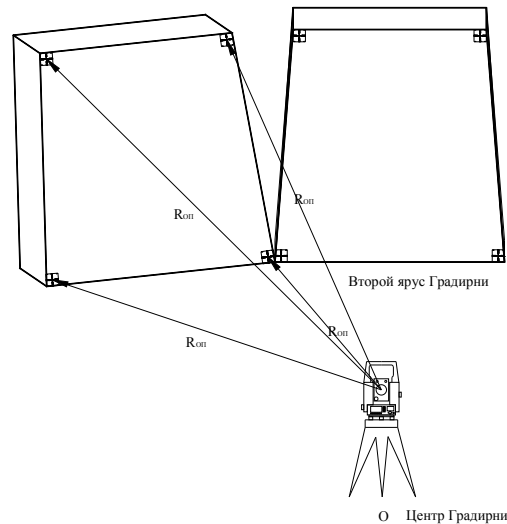


Рисунок 3.18 – Схема установки в проектное положение укрупненных секций

Для обеспечения монтажа второго и последующих ярусов рабочее обоснование со стен бассейна необходимо перенести на высоту от 11 до 12 м (рисунок 3.17, б). Это вызвано тем, что между первым и вторым ярусами будет располагаться технологический горизонт, который будет перекрывать видимость на остальные ярусы. Для передачи координат на высоту от 11 до 12 м на уровне второго яруса рядом с центром градирни монтируется площадка под установку тахеометра (рисунок 3.19)

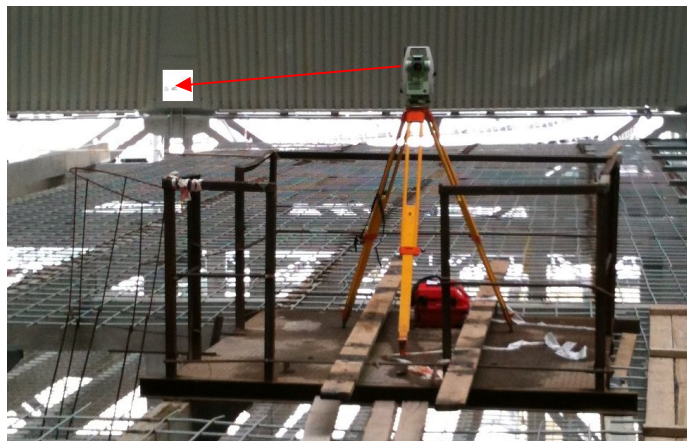


Рисунок 3.19 – Схема установки тахеометра на монтажной площадке

На эту площадку устанавливается тахеометр с подвешенным к штативу грузом (с целью исключения влияния потоков воздуха внутри каркаса градирни). Закрепление пунктов рабочего обоснования в виде металлических пластин с отражающими пленками производится на конструкциях первого яруса равномерно по всей окружности (рисунок 3.20). Для удобства выполнения измерений пластины разворачивают по направлению к центру градирни.



Рисунок 3.20 – Рабочее обоснование на втором ярусе градирни

После установки всех пластин производится передача на них координат с пунктов рабочего обоснования, расположенных на стенках водосборного бассейна (рисунок 3.17, б). Для этого решением обратной линейно-угловой засечки не менее чем от четырех-пяти пунктов с ошибкой от 3,0 до 4,0 мм (с учетом нестабильного положения тахеометра на площадке) сначала определяются координаты свободной станции тахеометра, а затем координаты новых отражающих пластин.

Дальнейший контроль установки в проектное положение секций всех последующих ярусов производится тахеометром с одной монтажной площадки (рисунок 3.21).

Конструкция ярусов второго, третьего и четвертого позволяет производить измерения без наклона отражающих пленок к центру O градирни. По мере подъема ярусов градирни (с пятого по седьмой яруса) видимость на отражающие пленки, расположенные по углам на укрупненных секциях, ухудшается. Поэтому

пластины с отражающими пленками разворачиваются по направлению к центру градирни примерно под прямым углом.

По мере увеличения нагрузки от последующих ярусов происходят деформационные процессы основания градирни, что приводит к изменению координат рабочего обоснования пунктов, расположенных на стене бассейна. В связи с этим возникает задача периодического контроля координат пунктов этого обоснования. Для этого в укрупненных секциях делается технологическое отверстие, чтобы была видимость на пункты внешнего обоснования (рисунок 3.19), в нашем случае на пункты 18А-4Б, ОГП-7 и ОГП-8. После того как монтаж всего каркаса закончится, данные технологические отверстия закроются.

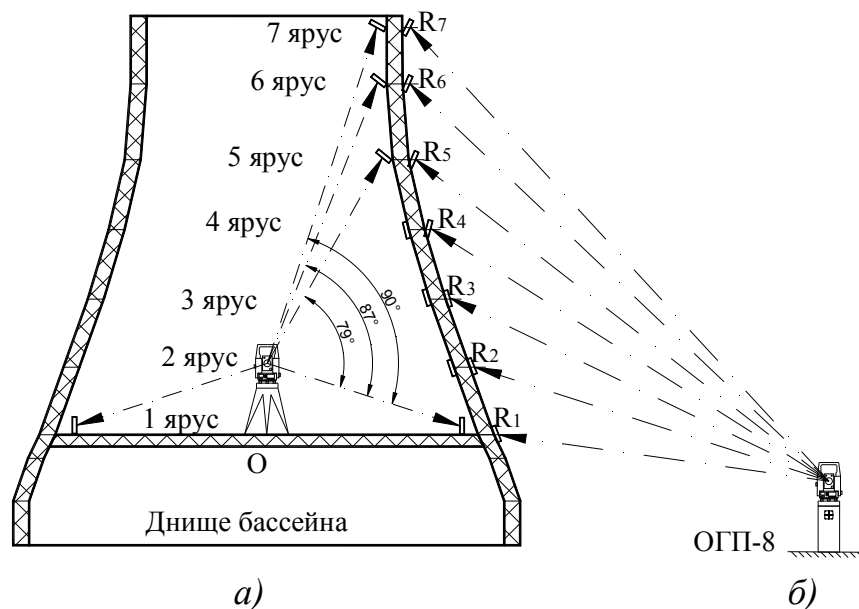


Рисунок 3.21 – Схема геодезического контроля монтажа градирни с пунктов:

а) рабочего обоснования; б) внешнего обоснования

Если по технологическим причинам установить тахеометр на монтажной площадке в данный момент времени не представляется возможным, то контроль установки в проектное положение секций можно производить с пунктов внешнего обоснования или со свободной станции (рисунок 3.21, б). Для этого определяются координаты пункта стояния тахеометра и координаты углов укрупненных секций в системе координат промплощадки [108]. Очевидно, что с одной установки тахеометра обеспечить установку секций в проектное

положение невозможно. Поэтому тахеометр устанавливается поочередно на несколько пунктов внешнего обоснования или свободных станций (рисунок 3.22).

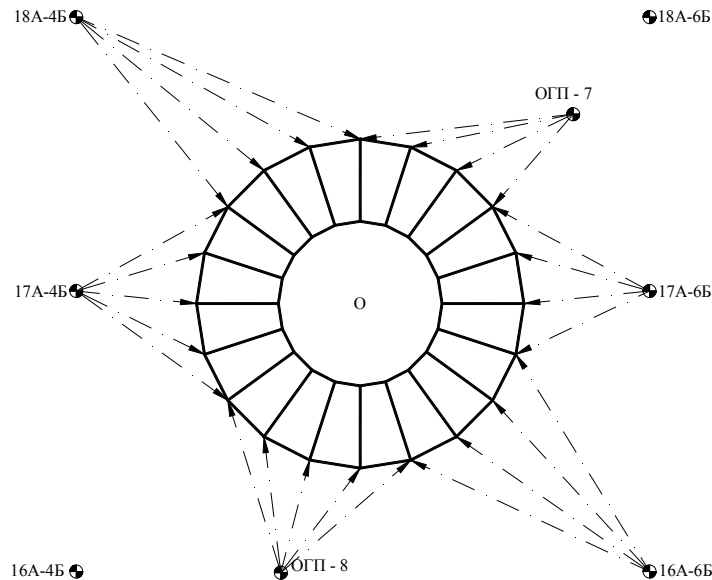


Рисунок 3.22 – Схема геодезического контроля монтажа градири с внешних пунктов планово-высотного обоснования

Рассчитаем величину средней квадратической ошибки установки в проектное положение отражающей пленки, закрепленной на укрупненной секции. Она может быть вычислена по формуле [128, 129]

$$m = \sqrt{m_D^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} D^2 \cos^2 \alpha}, \quad (3.6)$$

где m_α – СКО измерения вертикального угла (2'');

m_D – СКО измерения расстояния (2 мм);

α – угол наклона от отражающей пластины до тахеометра;

D – расстояние до цели в мм.

Например, при $\alpha = 70^\circ$, $D = 60$ м получим $m = 1,95$ мм. В величину данной ошибки не входят ошибки, обусловленные ошибками создания рабочего обоснования, величины которых с применением высокоточных тахеометров не будут превышать от 3,0 до 4,0 мм (с учетом наличия вечномёрзлых грунтов). С учетом ошибок

положения пунктов рабочего обоснования величина суммарной средней квадратической ошибки установки секции в проектное положение будет в среднем равна от 3,0 до 4,0 мм.

3.6 Геодезическое обеспечение геометрических параметров железобетонной градирни

Схема создания обоснования для обеспечения геометрических параметров градирни. Как уже указывалось выше, железобетонные градирни достигают высоты от 150 до 180 м. В связи с этим возникают значительные трудности в обеспечении геометрических параметров при их возведении.

Общая технологическая схема их возведения практически аналогична, как и при возведении стальных градирен. Однако из-за значительных габаритов градирни также значительно усложняется методика производства геодезических измерений.

В целом комплекс геодезических работ при возведении градирни включает в себя:

- вынос главных осей градирни;
- создание рабочего (исходного) обоснования на днище бассейна;
- вычисление координат колоннады и точек каждого яруса градирни;
- производство геодезических измерений при установке опалубки для бетонирования;
- производство исполнительной съемки.

Вынос главных осей градирни производится аналогично методике, рассмотренной при возведении стальной градирни. Отличие состоит в увеличении числа пунктов обоснования, используемых для этого выноса.

После выноса главных осей градирни необходимо создать внутреннее рабочее обоснование, которое будет использоваться при обеспечении геометрии градирни при ее возведении. Это обоснование также удобно создавать на дне водосборного бассейна.

При создании рабочего обоснования необходимо стремиться, помимо обеспечения необходимой точности, к удобству выполнения измерений в

процессе возведения градирни. В связи с этим основными требованиями к рабочему обоснованию являются:

– с целью исключения влияния ошибок взаимного положения пунктов сети промплощадки на точность положения пунктов рабочего обоснования, а в дальнейшем и на определение геометрии градирни, это обоснование должно создаваться в условной прямоугольной системе координат, принятой для строящейся градирни или координат промплощадки в целом;

– расположение пунктов рабочего обоснования должно обеспечить удобство производства выполнения измерений.

Вместе с тем возведение градирни и других сооружений производится в общей системе координат промплощадки. Поэтому на первом этапе (при выносе главных осей) положение центра O градирни необходимо определять в общей системе координат промплощадки, а затем, при возведении градирни, необходимо использовать условную систему координат (рисунок 3.25). При этом координаты центра O градирни удобно принимать равными $X=1000,000$ м и $Y=1000,000$ м (или $X=100,000$ м и $Y=100,000$ м). Кроме того, пункты A , B , C и D также должны иметь координаты в этой условной прямоугольной системе координат.

Для обеспечения начального ориентирования зрительной трубы на дне бассейна необходимо создать исходный базис, относительно которого определяются координаты пунктов рабочего обоснования [131]. Необходимость в таком базисе обусловлено тем, что по мере возведения градирни некоторые пункты рабочего уничтожаются и их необходимо восстанавливать. Расположение и количество пунктов рабочего обоснования определяется высотой рабочего яруса, а также принятой методикой выполнения измерений.

После разработки схемы расположения пунктов рабочего обоснования на днище градирни переходят к его созданию. Для создания внутреннего рабочего обоснования над центром O градирни устанавливается тахеометр и через 6° (можно и через 3°) на внутренней стенке водосборного бассейна размечаются положение металлических пластин размером не более 100×100 мм, которые закрепляются к стенке с помощью дюбелей на высоте от 1,8 от 2,0 м от пола

водосборного бассейна [108].

Далее, согласно разбивочному чертежу, производится контроль положения в плане, по высоте и соблюдения вертикальности (проектного положения) отдельных конструктивных элементов [92]:

- колонн каркаса вытяжной башни;
- опорного каркаса оросителя, водораспределителя и водоуловителя;
- магистральных труб водораспределительного устройства;
- воздухопроводных окон и воздухорегулирующих устройств.

Основные геометрические характеристики, которые необходимо обеспечивать и контролировать геодезическими измерениями являются:

- колонн каркаса вытяжной башни;
- радиус башни на каждом ярусе;
- вертикальность башни.

Определение (задание) геометрии (положения опалубки) может производиться методиками, реализующими следующие способы измерений:

- способом координат с пунктов рабочего обоснования;
- с применением приборов вертикального проецирования.
- с применением спутниковых приемников;

Методика определения координат с помощью спутниковых приемников реализуется с пунктов внешнего планово-высотного обоснования. Методики, основанные на остальных вышеупомянутых способах, реализуются с рабочего обоснования, создаваемого внутри башни (бассейна). Поэтому создаваемое рабочее обоснование (геодезическая сеть) должно удобно обеспечивать выполнение измерений при различной высоте ярусов.

Для этого на внутренней стенке водосборного бассейна размечаются положение металлических пластин, которые дюбелями прикрепляются к стенке бассейна. После закрепления этих пластин на них по центру необходимо наклеивать светоотражающие марки. Затем над центром *O* тщательно центрируется высокоточный тахеометр и с его помощью определяются координаты этих светоотражающих марок с ошибкой не более от 2 до 3 мм.

Ошибки, присущие координатному способу, аналогичны ошибкам способа полярных координат. При использовании высокоточного тахеометра и при тщательном выполнении измерений ошибка выноса точек не будет превышать от 0,5 до 2,0 мм при расстоянии до этих точек не более 100 м.

Координаты этих марок будут использоваться в дальнейшем для решения обратной линейно-угловой засечки. Так как некоторые из принятых методик будут реализовываться с использованием пунктов рабочего обоснования, то координаты этих пунктов определяются также в условной прямоугольной системе координат, принятой для градирни. При этом пункты рабочего обоснования могут быть постоянными и передвижными.

Постоянные пункты изготавливаются в виде тумб с отверстиями для принудительного центрирования, и они устанавливаются в местах, где за весь период возведения башни они не будут уничтожены. Количество этих пунктов может быть не менее восьми - десяти. Установка тумб производится в два этапа. На первом этапе определяется места установки тумб и с ошибкой порядка от 5 до 10 мм и предварительно определяются координаты этих мест. При определении координат тахеометр устанавливается над центром градирни (точкой O) и по программе определения координат неизвестного пункта определяются координаты мест установки тумб. Измерения могут выполняться с применением отражателя или в безотражательном режиме. После установки тумб производится окончательное определение координат отверстий для принудительного центрирования. Для этого тахеометр со штативом центрируется над центром градирни с точностью от 0,5 до 1,0 мм, а в отверстие для принудительного центрирования устанавливается отражатель. После этого производится определение прямоугольных координат этого отверстия с ошибкой не более 2,0 мм. Если пункт (тумба) не виден с центра градирни, то определение его координат производится с пункта с уже известными координатами. Пункты I - VIII устанавливаются ближе к стенке бассейна с таким расчетом, чтобы с них можно было определять координаты конструктивных элементов верха градирни. Пункты a , b , c и d устанавливаются на осях X и Y на расстоянии 4500-5000 мм от

центра O градирни.

Передвижные пункты рабочего обоснования используются в тех случаях, когда выполнить измерения с постоянных пунктов не представляется возможным. В простейшем случае передвижной пункт представляет собой обычный штатив с тахеометром, который устанавливается в удобном (в конкретном случае) месте. С целью удобства выполнения измерений это место должно обеспечивать свободное перемещение наблюдателя вокруг штатива.

Передвижной пункт может быть изготовлен также в виде металлического штатива весом до 100 кг (для обеспечения устойчивости), на который устанавливается тахеометр и который, по мере необходимости, переносится и устанавливается на выбранной точке.

Определение координат передвижных пунктов производится способом обратной линейно-угловой засечки от трех – четырех постоянных пунктов рабочего обоснования (от пунктов I – VIII или 1 – 59).

В связи с тем, что диаметр и высота башни значительные, техническое оснащение геодезическими приборами, а также опыт и квалификация исполнителей в организациях также могут различаться, то для выполнения геодезических измерений предлагается несколько методик.

Кроме того, на производство измерений на верхних ярусах в весенний и осенний периоды часто влияют внешние условия, в частности туман.

Определение геометрии градирни с помощью тахеометра нами рекомендуется производить следующими способами [108]:

- с пунктов рабочего обоснования;
- с установкой тахеометра на кране по центру O градирни;
- с установкой тахеометра на опалубке;
- с пунктов внешней планово-высотной основы (с пунктов A , B , C и D).

Определение геометрии с помощью спутниковых приемников производится только с пунктов внешнего обоснования промплощадки.

Обеспечение геометрии градирни тахеометром с пунктов рабочего обоснования. Определение геометрии башни производится координатным способом, то сначала производится расчёт координат X и Y для колоннады и каждого яруса. Алгоритм расчёта сводится к переводу координат отражателей в условную прямоугольную систему координат градирни по формулам прямой геодезической задачи

$$\begin{aligned} X &= X + \Delta X = 100,000 + \Delta X, \\ Y &= Y + \Delta Y = 100,000 + \Delta Y. \end{aligned} \quad (3.7)$$

По этим координатам и производится установка колоннады и опалубки. Перед установкой колоннады производится разбивка их положения. Для этого в центре O (рисунок 3.23) устанавливается тахеометр и путем откладывания углов α намечают положение осей коллонады.

Монтаж колоннады производится координатным методом с установкой тахеометра над центром O (если это возможно) или с пунктов рабочего обоснования в том числе и с передвижных. Измерения выполняются в безотражательном режиме или с использованием светоотражающих пленок. При этом выносятся (определяются) координаты низа и верха колонн с точностью от 3 до 5 мм. Контроль положения верха колонн может производиться коллимационной плоскостью тахеометра.

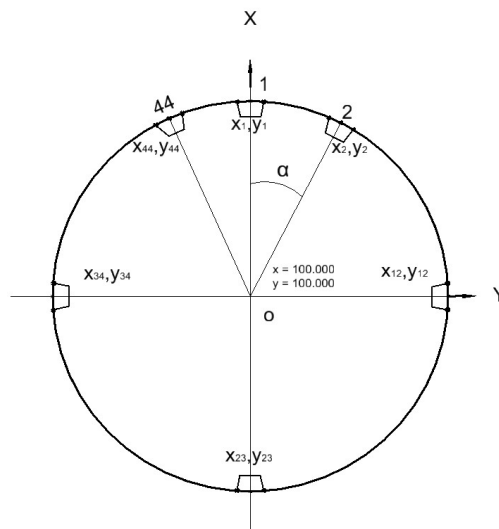


Рисунок 3.23 – Схема разбивки осей колоннады

Для этого производится сравнение проектной разности радиусов верха и низа колонн с фактически полученной.

Для расчета координат X и Y для каждого яруса (колоннады) необходимы:

- проектные величины радиусов R внутренней поверхности бетона оболочки градирни каждого верха яруса или радиусов R середины оболочки градирни также каждого верха яруса;
- полярные углы α от 6° до 354° ;
- длину вехи с отражателем или вехи со светоотражающей плёнкой.

Величины радиусов изменяются при переходе к следующему ярусу, а полярные углы α постоянные для всех ярусов. Расчет приращений координат производится по формулам

$$\begin{aligned}\Delta X &= R_{omp} \cos \alpha, \\ \Delta Y &= R_{omp} \sin \alpha.\end{aligned}\quad (3.8)$$

Радиус установки отражателя вычисляется по формуле

$$R_{omp} = R - L, \quad (3.9)$$

где R – проектные величины радиусов внутренней поверхности бетона оболочки градирни каждого верха яруса или радиусов середины оболочки градирни также каждого верха яруса;

L – длина вехи с отражателем или со светоотражающей пленкой.

Так при величине радиуса первого яруса $R = 57865$ мм и $l = 2700$ мм радиус отражателя будет равен 55165 мм. Тогда при величине полярного угла 6° будем иметь

$$\begin{aligned}X_i &= X_{центр} + \Delta X_i = 100000 \text{ мм} + 54863 \text{ мм} \\ Y_i &= Y_{центр} + \Delta Y_i = 100000 \text{ мм} + 5766 \text{ мм}.\end{aligned}\quad (3.10)$$

После вычисления прямоугольных координат яруса переходят к установке опалубки. Установку опалубки нижних ярусов удобно производить с пунктов a , b , c и d (рисунок 3.4 и 3.24), так как в этом случае угол наклона зрительной трубы не превышает 30° и измерения удобно производить с применением угловой

насадки на окуляр. Установку опалубки более высоких ярусов необходимо производить с пунктов I – VIII или с переносных пунктов рабочего обоснования, устанавливаемых возле стен бассейна.

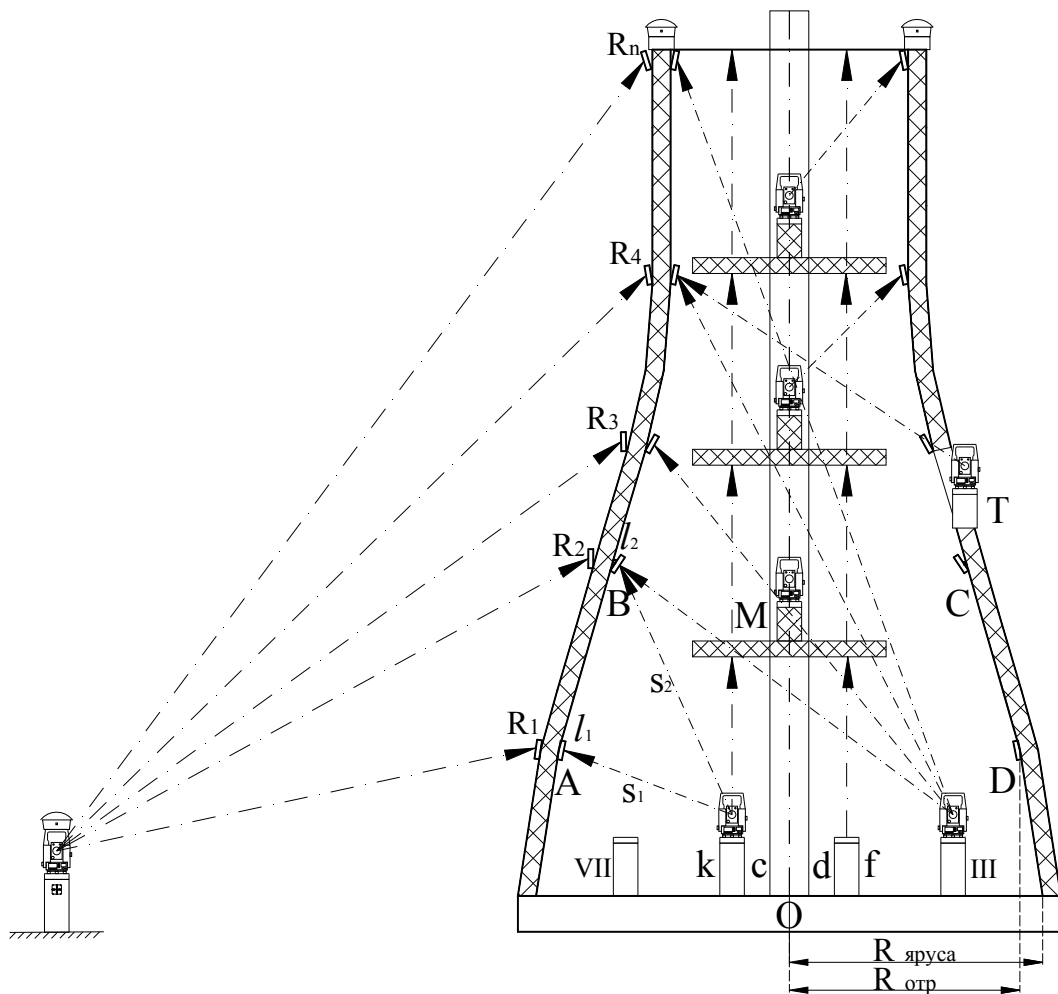


Рисунок 3.24 – Схемы определения геометрии градирни

Для выполнения измерений тахеометр устанавливается, например, на пункте *a*, зрительная труба ориентируется в принятой системе координат принятой для расчёта, вводятся координаты пункта *a* после чего в программе выноса точки определяются (выносятся) координаты отражателя. Если имеется разность проектных и полученных координат, то на эту величину передвигается опалубка.

Для получения правильных расчетных координат отражателя веха ориентируется по направлению на центр *O* градирни.

Установка вехи с отражателем в горизонтальное положение производится

с помощью цилиндрического уровня с ценой деления до 60", который прикрепляется к вехе.

Недостатками данной методики являются:

- уменьшение точности определения (задания) координат с увеличением высоты яруса из-за значительного наклона зрительной трубы тахеометра;
- методические трудности определения координат на верхних горизонтах;
- невозможности ее применения во время тумана, особенно на высоких ярусах.

На величину средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будут оказывать влияние ошибки:

- определения координат рабочего обоснования, равно 2,0 мм;
- собственно выставления проектных значений координат (ошибка измерений), равная 2,0 мм;
- фиксации опалубки в заданном положении, равном 4,0 мм.

Тогда величина суммарной средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будет равна 5,0 мм.

Обеспечение геометрии градирни с установкой тахеометра на кране. Для перемещения опалубки на очередной ярус применяется башенный кран, который установлен по центру градирни (рисунок 3.7). Для обеспечения устойчивости крана применяются растяжки, которые крепятся к уже возведенным ярусам градирни [100]. В результате этого остаточные колебания крана будут незначительными. Учитывая данный фактор, имеется возможность определять геометрию градирни тахеометром, установленным на кране. При использовании данной методики не требуется расчета координат X , Y опалубки, так как ее установка будет производиться с использованием только радиуса R каждого яруса. Данную методику удобно использовать на нижних ярусах при неработающем кране, и когда его колебание на высоте установки тахеометра не превосходит величины от 3 до 5 мм.

Достоинством ее является тот факт, что при ее реализации требуется всего два (с запасом четыре) пункта рабочего обоснования.

Для реализации данной методики по одной из осей X или Y на расстоянии от 1400 до 1500 мм от центра O градирни устанавливаются две тумбы k и f (рисунок 3.24), обеспечивающие принудительное центрирование. Расстояние между центром O градирни и центрами для принудительного центрирования тумб k и f измеряется с ошибкой от 1,0 до 2,0 мм. Для удобства дальнейших измерений расстояния между центром O градирни и тумбами k и f должно быть одинаковым.

Для установки тахеометра на кране изготавливается рама размером 200x3200 мм из уголка (рисунок 3.25). На раме 1 устанавливается площадка 2 с отверстием для тахеометра. По всей длине рамы по ее середине натягивается рулетка 3.

Методика измерений выполняется в следующей последовательности. На тумбах k и f (рисунок 3.24) устанавливаются приборы вертикального проецирования, а на башне крана горизонтально (с точностью нескольких градусов) укладывается рама. После этого рама передвигается до тех пор, пока на рулетке 3 (рисунок 3.25) не будут установлены отсчеты a и b , равные расстояниям между центром O градирни и центрами тумб k и f . Установка отсчетов производится с ошибкой от 1,0 до 2,0 мм. В результате этих действий центр 4 отверстия для крепления тахеометра будет совпадать с центром O градирни.

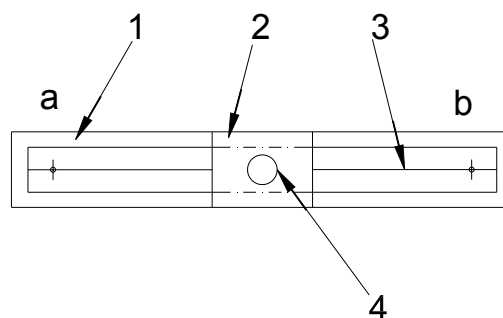


Рисунок 3.25 – Конструкция рамы для установки тахеометра

После этого в центр 4 отверстия устанавливается тахеометр (рисунок 3.25) и начинаются измерения радиусов каждого их ярусов. Измерения могут проводиться до внутренней поверхности бетона (точки A и D) или до вехи с

отражателем (точки B и C). По мере возведения башни рама с тахеометром поднимается выше.

На величину средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будут оказывать влияние ошибки:

- определения координат рабочего обоснования, равное 2,0 мм;
- проецирования координат рабочего обоснования на раму, на которой устанавливается тахеометр, равное 2,0 мм;
- собственно выставления проектных значений координат (ошибка измерений), равная 2,5 мм;
- остаточное качание крана, равное 5,0 мм;
- фиксации опалубки в заданном положении, равное 5,0 мм.

Тогда величина суммарной средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение не будет превосходить 10 мм. С учетом технологического допуска на установку опалубки данная методика удовлетворяет необходимым требованиям [117].

Обеспечение геометрии градирни с установкой тахеометра на опалубке. Отличие данной методики от методики, приведенной выше заключается в том, что в отверстие 4 (рисунок 3.25) устанавливается круглая марка M диаметром от 15 до 20 мм покрытая светоотражающей пленкой, а тахеометр T (рисунок 3.24) устанавливается на опалубке (по центру или по ее краю). Затем измерения выполняются следующим образом. После установки тахеометра зрительная труба наводится на марку M и измеряется горизонтальное проложение (часть r радиуса яруса). Величина радиуса опалубки для данного яруса вычисляется по формуле

$$R_{\text{опалубки}} = r + r' + s, \quad (3.11)$$

где r' – радиус марки M ;

s – расстояние от оси вращения тахеометра до центра опалубки (или внутреннего края).

По результатам измерения радиуса опалубки вычисляется разность, после чего опалубка смещается во внутрь или наружу. При использовании данной методики измерения можно выполнять несколькими тахеометрами.

На величину средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение, как и при использовании предыдущей методики, будут оказывать влияние ошибки:

- определения координат рабочего обоснования, от 1,5 до 2,0 мм;
- проецирования координат рабочего обоснования на раму, на которой устанавливается отражатель, равное 2,0 мм;
- собственно выставления проектных значений координат (ошибка измерений тахеометром), равная 2,5 мм;
- остаточное влияние качания крана, равное 5,0 мм;
- фиксации опалубки в заданном положении, равное 5,0 мм.

Тогда величина суммарной средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение также не будет превосходить 10,0 мм.

Обеспечение геометрии градирни с пунктов внешнего обоснования. Общим недостатком рассмотренных выше методик обеспечения геометрии возводимых градирен является неукоснительное соблюдение техники безопасности, заключающееся в прекращении производства строительно-монтажных работ во время выставления опалубки в проектное положение, а также невозможность их применения при выставлении опалубки верхних ярусов при наличии тумана, особенно весной и осенью [141].

Прекращение производства строительно-монтажных работ во время выполнения геодезических измерений при выставлении опалубки в проектное положение обусловлено тем, что исполнитель, тахеометр и прибор вертикального проецирования находятся на днище бассейна и велика вероятность падения на них бетона с большой высоты.

Наличие тумана (особенно в утреннее время) приводит к остановке процесса выставления опалубки. При установке опалубки в проектное положение с пунктов внешнего рабочего обоснования координаты опалубки и пунктов *A*, *B*, *C* и *D*

вычисляются в системе координат градирни. Координаты опалубки вычисляются по принятым полярным углам и радиусу опалубки каждого яруса [39]. После этого высокоточный тахеометр устанавливается, например, на пункте *A* (рисунок 3.24 и 3.26), ориентируется по выбранной базовой линии, вводятся координаты пункта *A* и в режиме выноса точки по вертикально установленному отражателю определяются координаты нескольких точек, например, первый, второй, третий яруса. Полученные координаты сравниваются с проектными и по разности полученных и проектных координат определяется направление смещения опалубки. Аналогичным образом измерения выполняются с остальных пунктов обоснования.

На величину средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будут оказывать влияние ошибки [60, 141]:

- определения координат внешнего рабочего обоснования, равная 2,5 мм;
- собственно выставления проектных значений координат (ошибка измерений тахеометром), равная 2,0-3,0 мм;
- фиксации опалубки в заданном положении, равная 3,0-5,0 мм.

Тогда величина суммарной средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будет равна 6,0-7,0 мм.

Установку опалубки в проектное положение можно проводить и с использованием программы AutoCAD. Для этого опалубка предварительно устанавливается в проектное положение, а затем с пунктов обоснования производится исполнительная съемка ее положения. После этого результаты съемки переносятся в AutoCAD, затем задаются принятые координаты центра *O* градирни и от него откладывается проектный радиус до каждой снятой точки. Полученные разности используются для определения направления смещения опалубки.

Данная схема установки опалубки исключает прекращения производства строительно-монтажных работ во время выставления опалубки в проектное положение. Однако влияние наличия тумана она не исключает. Данную проблему решает применение спутниковых технологий [170]. Она позволяет производить установку опалубки при ограниченной видимости (туман) на

верхние ярусы, а также в вечернее или утреннее время (зимой).

При реализации данной методики проектные координаты опалубки и пунктов *A, B, C, D* внешней плановой основы вычисляются в системе координат гирдин. Перед началом измерений опалубка предварительно устанавливается в проектное положение. После этого на пункте внешней плановой основы, например в точке *A*, устанавливается приемник, принимаемый за базовый, а другие приемники устанавливаются по центру опалубки яруса (можно на внутренней или внешней ее стороне) [141]. Измерения выполняются в режиме реального времени (RTK), который позволяет определить координаты центра опалубки с ошибкой не более 10,0 мм в течение одной-двух минут относительно базовой станции. Для определения координат опалубки всего яруса потребуется не более двух часов [160]. Для контроля измерения можно проводить еще с одного базового пункта.

По окончании измерений результаты съемки переносятся в AutoCAD, затем задаются принятые координаты центра *O* гирдин и от него откладывается проектный радиус до каждой снятой точки. Полученные расхождения используются для определения направления смещения опалубки.

На величину средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будут оказывать влияние ошибки [60, 141]:

- определения координат внешнего рабочего обоснования, равное 2,5 мм;
- собственно выставления проектных значений координат в режиме RTK равное 8,0 мм;
- фиксации опалубки в заданном положении, равное 5,0 мм.

Тогда величина суммарной средней квадратической ошибки установки опалубки в проектное положение будет равна 6,0 мм.

Кроме плановой установки опалубки производится установка и по высоте.

Определение высоты (отметки) опалубки производится:

- геометрическим нивелированием с применением элеватора высот;
- высокоточным тахеометром с пунктов рабочего обоснования или с

пунктов внешней плановой основы.

Для сооружения элеватора высот используется кран, вдоль которого натягивается рулетка (рулетки) длиной 100 м. С помощью подвешенной компарированной рулетки (рулеток), двух нивелиров типа НЗ и комплекта реек передается отметка от репера на верх опалубки. Натяжение рулетки не должно превышать 10 кг. В результаты измерений рулеткой необходимо вводить поправку за температуру.

Передача отметки тахеометром осуществляется одновременно с установкой опалубки. Измерения выполняются высокоточным тахеометром, обеспечивающим ошибку определения превышения от 3 до 5 мм. Величина средней квадратической ошибки измерения превышения от одного пункта обоснования будет равна [128]

$$m_h^2 = m_D^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} D^2 \cos^2 \alpha, \quad (3.12)$$

где m_α – СКО измерения вертикального угла (2");

m_D – СКО измерения расстояния (2 мм);

α – угол наклона;

D – расстояние до цели в миллиметрах.

Например, при $\alpha = 70^\circ$, $D = 40$ м получим $m_h = 1,88$ мм.

Нивелирование опалубки на ярусе может производиться тахеометром или геометрическим нивелированием. При применении геометрического нивелирования используются точные нивелиры и шашечные (телескопические) рейки. При выполнении нивелирования на ярусе устраиваются площадки для установки тахеометра или нивелира. При применении геометрического нивелирования главное условие нивелира должно быть исправлено до 20". Поверка нивелира должна производиться регулярно.

4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ И СИСТЕМЫ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР – ШТРИХКODOВАЯ РЕЙКА»

4.1 Особенности устройства и проведения метрологической поверки электронных геодезических приборов

В настоящее время при выполнении нивелирования начали широко применяться цифровые нивелиры, которые являются многофункциональными геодезическими приборами, совмещающими функции высокоточного оптического нивелира, электронного запоминающего устройства и встроенного программного обеспечения для обработки полученных измерений. Применение цифровых нивелиров позволяет исключить личные ошибки исполнителя и ускорить процесс измерения. Для того достаточно привести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать соответствующую кнопку [166].

Цифровые технологии позволяют значительно расширить возможности нивелиров и области их применения. В основе определения превышений цифровым нивелиром лежит тот же принцип, что и в оптических нивелирах. Однако вместо метрической рейки используется специальная штрих-кодовая рейка, а вместо анализатора, определяющего положение визирной оси нивелира на рейке, используются не глаз человека, а матричный фотодетектор. Задача наблюдателя состоит лишь в наведении зрительной трубы нивелира на рейку, после чего автоматически происходит распознавание, обработка и анализ изображения, и, наконец, выдача полученного результата в цифровом виде.

На нивелирную рейку нанесен специальный код, по которому происходит определение превышений. Наиболее распространённым в настоящее время является штриховой код. Изображение кодовой рейки переносится на фотоприемные устройства (ФПУ), в качестве которых применяются линейные ПЗС, после чего происходит автоматическое распознавание кода и тем самым определяется отсчет по рейке [26]. Кодирование рейки и декодирование полученного изображения должны обеспечивать взятие отсчета по рейке и

определение значения превышения на всем диапазоне длины рейки. Основными сложностями при этом считаются наличие переменного масштаба изображения, ограниченное разрешение оптической системы нивелира, недостаточная величина поля зрения нивелира, а также зависимость работы приемника от освещенности [90, 147].

Другим современным геодезическим прибором является электронные тахеометры, отличающиеся друг от друга по точностным характеристикам и выполняемым функциям. Все тахеометры можно разделить на четыре основные группы:

- простейшие, по выполняемым функциям, электронные тахеометры, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения углов порядка от 5,0" до 6,0" и расстояний от 5 до 10 мм;

- тахеометры, имеющие встроенное программное обеспечение для производства практически всего спектра геодезических работ, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения углов от 1,0" до 2,0" и расстояний от 0,5 до 2,0 мм; при этом измерение расстояний может производиться с применением отражательных призм или путем получения отраженного сигнала от естественных отражающих поверхностей (безотражательный режим);

- электронные тахеометры, совмещенные со спутниковым приемником, позволяющие определять координаты точки стояния тахеометра ГНСС технологиями;

- автоматизированные электронные тахеометры, оснащенные сервоприводом, позволяющие выполнять угловые и линейные измерения на станции автоматически.

В дополнение к этому прибор с сервоприводом может оснащаться специальной системой радиуправления, при этом съемку может производить только один человек, находящийся непосредственно на измеряемой точке. Подобная схема съемки увеличивает производительность проведения съемочных работ примерно на 80 % [152, 154, 171]. Также роботизированные системы могут быть использованы для наблюдения за деформациями объектов, съемки

движущихся объектов.

Измерение деформаций сооружений роботизированным тахеометром может быть выполнено гораздо более экономично, чем при использовании теодолитов. Контролируемые точки могут быть оснащены закрепленной призмой и поэтому многие точки можно наблюдать с одного места. Кроме того, благодаря надлежащему контролю программного обеспечения последовательность и сроки проведения измерений могут быть запрограммированы на автоматические действия [171].

Для получения необходимой точности геодезических измерений, а также обеспечения достоверности полученных результатов тахеометры и цифровые нивелиры должны соответствовать определенным техническим характеристикам, подтвержденными соответствующими метрологическими поверками. Порядок определения этих характеристик регламентируется локальными поверочными схемами (ЛПС) для нивелиров и теодолитов (тахеометров), которые основываются на соответствующих государственных поверочных схемах [70, 112, 126].

Особенностью метрологических поверок геодезических приборов, в нашем случае цифровых нивелиров и тахеометров, является их проведения при благоприятных внешних условиях. Кроме того, способы их проведения не могут быть применены после транспортировки их на значительные расстояния, когда возможны различного рода повреждения, а также в полевых условиях, в частности на промплощадке, при проведении технологических поверок. Поэтому авторами предлагается методика проведения таких поверок в любое время непосредственно на промплощадке.

4.2 Разработка методик и высотных стендов для метрологической поверки систем «цифровой нивелир-штрихкодовые рейки»

Основной технической характеристикой системы «нивелир-рейка» является средняя квадратическая ошибка измерения превышения на 1 км двойного хода [53]. Другой технической характеристикой при выполнении

высокоточного инженерно-геодезического нивелирования короткими лучами при монтаже и эксплуатации инженерных сооружений и оборудования является средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции при одном горизонте нивелира [123].

Для обеспечения метрологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка» в настоящее время разработаны методики, основанные на применении горизонтальных или вертикальных интерференционных компараторов, а также концевых мер длины [34, 35, 36, 132, 147, 154].

При проведении метрологической поверки оптического нивелира поверка выполняется отдельно для нивелира и для рейки, а затем прокладывается нивелирный ход на высотном эталонном полигоне [126, 173, 174]. Применительно к системе «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка» выполнить поверку раздельно чрезвычайно сложно. Выполнить исследования раздельно цифрового нивелира и штрих-кодовой рейки можно только в специализированных лабораториях, которые имеются в России в нескольких организациях, например, МОСГУГиК и СГУГиТ. Поэтому для организаций из удаленных районов такая ежегодная метрологическая поверка является дорогостоящим мероприятием. В этом случае для исследования цифрового нивелира необходимо иметь эталонную штрих-кодовую меру, положение штрихов на которой соответствует их теоретическим значениям, а для исследования только штрих-кодовой рейки и сравнения их с теоретическими значениями применяются вертикальные или горизонтальные интерференционные компараторы [35, 147, 176]. После этого проводятся исследования единой системы «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка» на интерференционном компараторе. Сущность данной методики заключается в сравнении эталонных превышений (перемещений), задаваемых лазерным интерферометром, с превышениями (перемещениями), измеренными поверяемой системой «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка». В результате этих исследований определяется величина средней квадратической ошибки

измерения линейных величин, аналогичных средней квадратической ошибке измерения превышений на станции.

При выполнении нивелирования в условиях промплощадки или при транспортировке цифрового нивелира могут иметь место случайные механические воздействия, приводящие к нарушению юстировки его электронной системы. Такие же нарушения могут быть при минусовых температурах, а также в условиях влияния вибрации на цифровой нивелир. В таких случаях возникает необходимость в проведении внеочередной технологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодированная рейка» [139].

В связи с этим возникает необходимость в проведении технологических поверок в производственных условиях и при разных температурных режимах. Применительно к оптическим нивелирам и штриховым (шашечным) рейкам проведение таких поверок не вызывает особых затруднений. Для выполнения технологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодированные рейки» в полевых условиях применять стационарные компараторы практически невозможно. Поэтому для проведения таких поверок в полевых условиях нами с участием других авторов разработаны соответствующие методики [58, 96, 137, 142, 144].

Также во время строительства любого крупного промышленного объекта на промплощадке, как правило, работают несколько подрядных организаций. Так, например, при строительстве Няганской ГРЭС насчитывается порядка 12 сторонних организаций, в составе которых имеются геодезические подразделения. Каждая организация располагает своим парком геодезических приборов, включая тахеометры и цифровые нивелиры. В связи с этим для проведения технологических поверок системы «цифровой нивелир-штрихкодированные рейки» на промплощадке необходимо создавать эталонные высотные стенды. Высотные стенды могут располагаться в помещении или в удобном месте непосредственно на промплощадке. При наличии этих стендов имеется возможность после транспортировки цифрового нивелира, резкого изменения температуры воздуха в течение рабочего дня, случайного

механического удара и т. д. незамедлительно выполнить указанную поверку с определением значения угла i , средней квадратической ошибки измерений превышения на станции, а так же масштаба изображения штрих-кодовой рейки.

Рассмотрим теперь конструкции высотных стендов, которые используются автором на промплощадке.

Конструкция высотного стенда, установленного в помещении и предназначенного для поверки главного условия цифровых нивелиров, практически аналогична, как и применяемая в настоящее время для поверки оптических нивелиров. Для этого в помещении в точках 1 (рисунок 4.1) закрепляются штрих-кодовые рейки P_1 и P_2 , а на равном расстоянии от них устанавливается тумба T_1 . Другая стационарная тумба T_2 устанавливается на расстоянии от 4 до 5 м от одной из штрих-кодовых реек длиной 2000 мм.

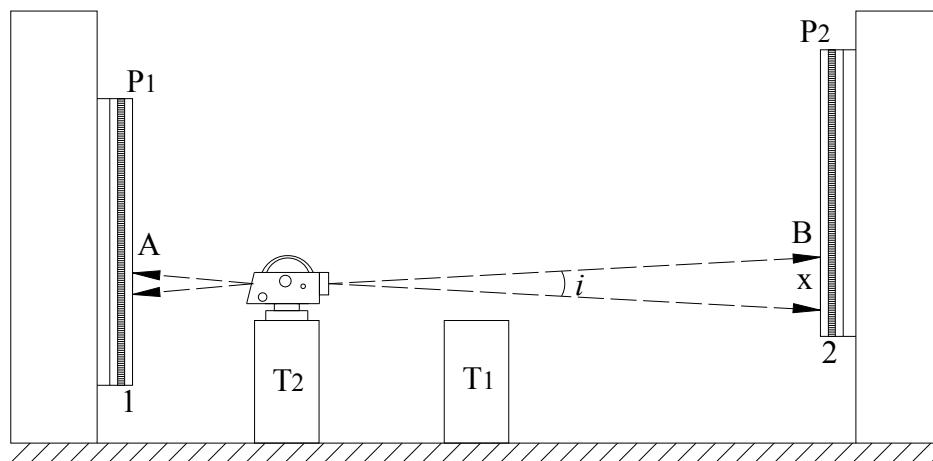


Рисунок 4.1 – Схема высотного стенда внутри помещения

Если точки установки штрих-кодовых реек P_1 и P_2 закреплены качественно, то превышение между ними не изменяется в течение сравнительно длительного промежутка времени. Поэтому при проведении поверок в течение этого промежутка времени поверяемый нивелир не устанавливается на тумбу T_1 , а сразу устанавливается на тумбу T_2 , с которой и производится измерение эталонного превышения и сравнения его с полученным.

Простейшая конструкция высотного полевого стенда представляет собой два репера промплощадки, заложенных на расстоянии от 60 до 70 м друг от

друга. В качестве реперов могут служить и деформационные марки, заложенные, например, на колоннах инженерного сооружения. В этом случае определение угла i с последующим введением поправки удобно производить по схеме, приведенной на (рисунок 4.2). Необходимо отметить, что определение угла i можно проводить и по другим схемам, указанным в руководствах по эксплуатации цифровых нивелиров.

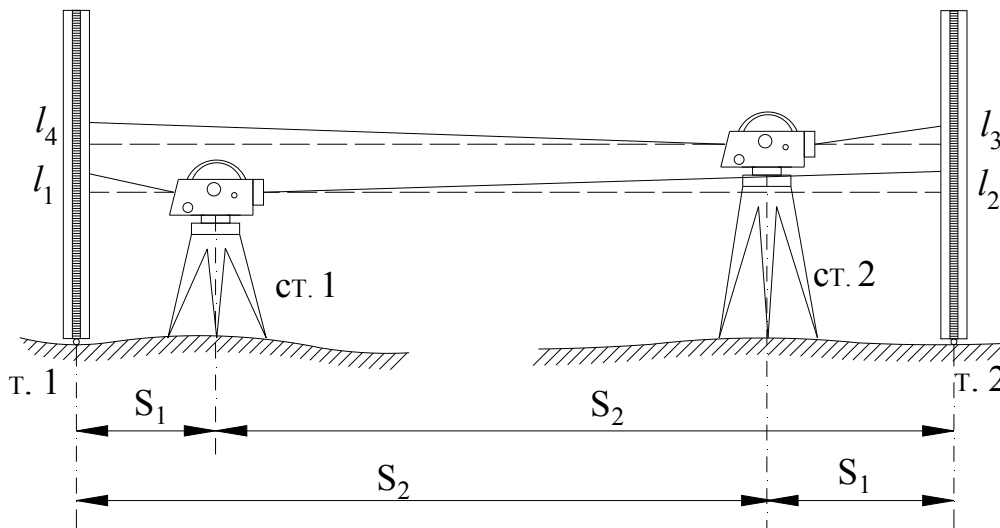


Рисунок 4.2 – Схема полевого высотного станда на промплощадке

Для качественного определения угла i места установки цифровых нивелиров должны представлять собой бетонированные площадки. В зимнее время выполнять поверку необходимо в безветренную погоду и при температуре не ниже от минус 8°C до минус 10°C [48]. Эта поверка должна проводиться регулярно, так как нивелир даже в течение одного дня может находиться в местах выполнения нивелирования с положительными и отрицательными температурами. Эта поверка также должна обязательно проводиться при выполнении нивелирования в тех случаях, когда невозможно выполнить равенство плеч на станции [49, 50].

Например, такое высокоточное нивелирование выполняется при установке в проектное положение закладных частей под цилиндры турбоагрегата, где технологический допуск равен $0,2\text{ мм}$.

4.3 Разработка методик определения масштаба изображения штрихкодовой рейки в полевых условиях

Методика поверки с последовательным изменением горизонта цифрового нивелира. Так как при выполнении нивелирования на промплощадке применяются разные по точности цифровые нивелиры, то автором с участием других исследователей [58, 137, 144] разработаны соответствующие методики проведения метрологических поверок.

Методика метрологической поверки с последовательным изменением горизонта цифрового нивелира может применяться при исследовании высокоточных систем «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка». Сущность методики состоит в измерении превышения между двумя точками несколько раз на разных участках применяемых штрихкодвых реек, находящихся по всей их длине [58, 137]. При этом методика может быть реализована двумя способами.

При реализации первого способа величина эталонного превышения между двумя точками неизвестна и оценка точности результатов измерения превышения производится по разности двойных измерений.

При реализации второго способа превышение между этими двумя точками дополнительно измеряется высокоточным оптическим нивелиром типа Н05 со средней квадратической ошибкой от 0,03 до 0,05 мм. Для измерения превышения с такой высокой точностью это превышение должно быть сравнительно небольшим (от 50 до 200 мм), а сами измерения должны производиться на разных делениях штриховой инварной рейки (с целью ослабления ошибок нанесения штрихов рейки).

Если применяется первый способ, то на промплощадке внутри любого помещения на бетонном жестком основании [58] в точке *A* устанавливается цифровой нивелир, а в точках *B* и *C*, имеющих сферическую форму, устанавливаются штрих-кодвые рейки (рисунок 4.3). Для повышения точности измерений рейки должны располагаться на расстоянии от 5 до 7 м от нивелира. Превышение между рейками может быть практически любым, но для ослабления влияния наклона реек на измеряемое превышение его необходимо делать

сравнительно небольшим, от 50 до 300 мм. Для удобства выполнения измерения и повышения их точности удерживать штрих-кодовые рейки в вертикальном положении необходимо с помощью подпорок или специальных стаканов. Также для удобства выполнения измерений рейки должны находиться примерно в одном створе, но на одинаковом расстоянии от нивелира (с целью исключения влияния ошибки за перефокусирование зрительной трубы). В этом случае повороты нивелира во время взятия отсчетов будут минимальными. Освещение реек должно быть достаточным и равномерным, без образования бликов.

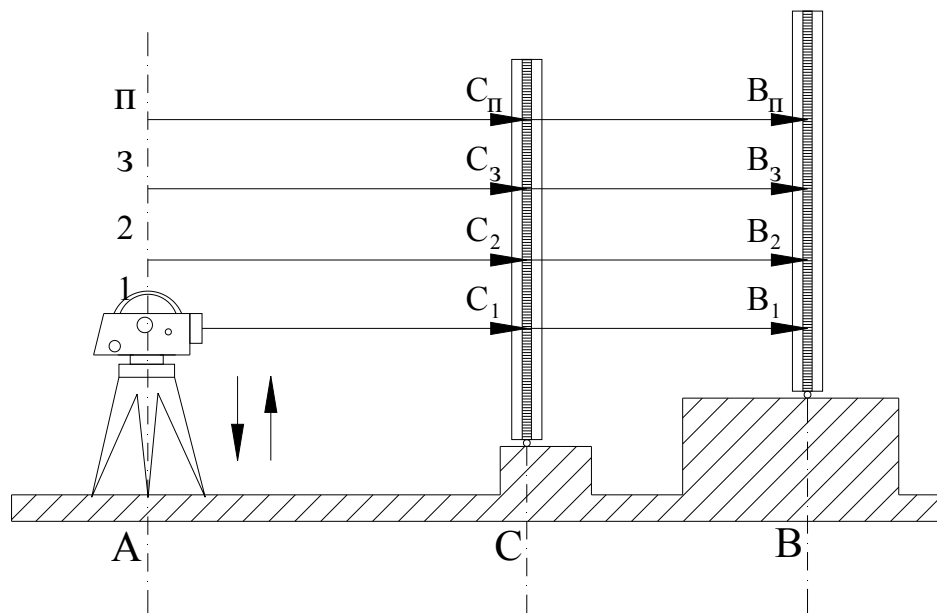


Рисунок 4.3 – Измерение превышений с изменениями горизонта цифрового нивелира

Перед началом измерений нивелир и штатив первоначально опускаются на минимально возможную высоту с таким расчетом, чтобы можно было измерить превышение, используя нижние части штрих-кодовых реек. После приведения нивелира в рабочее положение по каждой из реек производится от 15 до 20 отсчетов. Из полученных отсчетов находится среднее их значение и по формуле Бесселя вычисляется величина «ошибки взгляда» на каждую из реек. Затем с помощью штатива путем его подъема производится изменение горизонта нивелира на 10 см и измерения и все последующие вычисления выполняются аналогичным образом. Изменение горизонта нивелира (его поднятие)

производится до тех пор, пока измерение превышения не будет выполнено по всей длине реек. Так как длины ножек штатива не хватит для взятия отсчетов по верхней части реек, то нивелир переустанавливается на более высокое место с сохранением расстояний до реек. По окончании взятия отсчетов по верхним частям реек (ход прямо) производится измерение превышений и в обратном направлении. Для этого нивелир опускается также с интервалом от 8 до 15 см.

Если юстировка системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» не нарушена, то превышения, измеренные при разной высоте горизонта инструмента, будут равны между собой (в пределах ошибки измерений), т. е.

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n. \quad (4.1)$$

Измеренные превышения будут также равны в прямом и обратном ходах. Величины разностей

$$h_1 - h_2 = \delta_1, h_2 - h_3 = \delta_2 = \dots = h_{n-1} - h_n = \delta_n \quad (4.2)$$

будут свидетельствовать о качестве работы системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка». Если эти разности не будут превосходить величины от 0,02 до 0,03 мм, то можно считать, что система «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» работает нормально.

Достоинством данной методики является тот факт, что при ее использовании не нужно знать величину эталонного превышения между точками *B* и *C*.

С целью определения величин «ошибок взгляда» для разных расстояний до реек, а также наличия внутришаговых короткопериодических ошибок [34], эти расстояния увеличиваются. В одном из наших исследований расстояния до реек были равны 5,1; 8,2; 11,7; 15,0 м.

При этом средняя величина превышения для указанных расстояний была одинакова и составляла примерно 48,320 мм.

Результаты исследований нивелира DiNi 1012 и двухметровой рейки по данной методике для расстояния 8,2 м приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты поверки при изменении горизонта нивелира

Высота нивелира, м	h прямо, мм	Δ_1 мм	h обратно, мм	Δ_1 мм	Δ_2 мм
0,34	48,324		48,314		0,010
		-0,002		0,004	
0,41	48,322		48,318		0,004
		-0,014		-0,004	
0,58	48,308		48,314		-0,006
		0,008		0,008	
0,73	48,316		48,322		-0,006
		0,002		-0,016	
0,80	48,314		48,306		0,008
		-0,004		0,006	
1,05	48,310		48,312		-0,002
		0,005		0,013	
1,17	48,315		48,325		-0,010
		0,003		-0,015	
1,32	48,318		48,310		0,008
		0,001		-0,004	
1,48	48,319		48,306		0,013
		0,001		0,000	
1,63	48,320		48,306		0,014
		-0,012		-0,016	
1,72	48,308		48,322		-0,014
		-0,002		-0,008	
1,77	48,306		48,314		-0,008
–	–	CP = -0,001 CP = 0,005 M = 0,005 мм	–	CP = -0,004 CP = 0,009	CP = 0,002 CP = 0,008

После выполнения измерений вычисляются:

– среднее значение от 15 до 20 отсчетов для каждого горизонта нивелира;

- значения средних квадратических «ошибок взгляда» для каждого горизонта нивелира и для каждого расстояния до реек (по уклонениям от среднего);
- измеренные превышения между рейками для каждого горизонта нивелира в прямом и обратном направлениях;
- разность Δ_1 между превышениями смежных горизонтов в прямом и обратном направлениях;
- разность Δ_2 между превышениями в прямом и обратном направлениях для каждого горизонта нивелира;
- среднюю разность из всех горизонтов для прямого и обратного хода, а также между прямым и обратным направлениями;
- среднюю квадратическую ошибку измерения (по разностям двойных измерений) системой «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка».

При реализации второго способа после выполнения измерений вычисляются (таблица 4.2):

- среднее значение от 15 до 20 отсчетов для каждого горизонта нивелира;
- среднее превышение из прямого и обратного ходов для каждого горизонта нивелира;
- среднюю квадратическую ошибку измерения (по формуле Гаусса) системой «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка».

Необходимо отметить, что средняя квадратическая ошибка измерения превышения высокоточным оптическим нивелиром больше, чем цифровым. Поэтому вычисления, приведенные в таблице 4.2, следует рассматривать как подтверждение линейности масштаба изображения исследуемой системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка».

Если нивелирование на промплощадке будет выполняться при отрицательных температурах, то данную поверку также необходимо провести в таких же условиях.

Таблица 4.2 – Результаты поверки при изменении горизонта нивелира
(с дополнительным измерением превышения)

Высота нивелира, м	h прямо, мм	h обратно, мм	h среднее, мм	Δ , мм
0,34	48,324	48,314	48,319	0,029
0,41	48,322	48,318	48,320	0,030
0,58	48,308	48,314	48,311	0,021
0,73	48,316	48,322	48,319	0,029
0,80	48,314	48,306	48,310	0,020
1,05	48,310	48,312	48,311	0,021
1,17	48,315	48,325	48,320	0,030
1,32	48,318	48,310	48,314	0,024
1,48	48,319	48,306	48,312	0,022
1,63	48,320	48,306	48,313	0,023
1,72	48,308	48,322	48,315	0,025
1,77	48,306	48,314	48,310	0,020
–				m = 0,25 мм

Методика поверки с определением длины штрихкодовой рейки путем измерения по прямому и перевернутому ее изображению. Данную методику также можно использовать при проведении поверки высокоточных систем «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка». Особенностью конструкции отсчетного устройства цифровых нивелиров является тот факт, что оно позволяет выполнять взятие отсчета по прямому и обратному (по перевернутой рейке) изображению штрих-кода рейки. При этом считывание штрихкода по

обратному изображению также производится в направлении от пятки рейки до ее верха (рисунок 4.4).

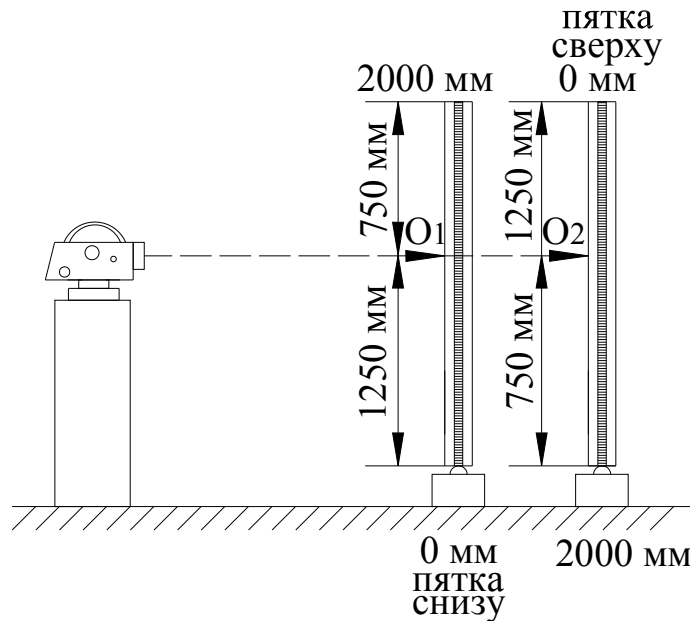


Рисунок 4.4 – Схема взятия отсчета по штрих-кодовой рейке

Тогда в первом случае отсчет будет равен O_1 , а во втором O_2 . Сумма этих отсчетов будет равна длине кодированной части L штрихкодовой рейки [58]

$$O_1 + O_2 = L. \quad (4.3)$$

Кроме того, если такие отсчеты производить при разной высоте горизонта нивелира, то при исправной работе системы «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка» сумма этих отсчетов также должна быть равна L и быть постоянной. Методика поверки состоит из двух этапов.

На первом этапе определяется стабильность взятия отсчетов по прямому и обратному изображению штрихкода рейки. Для этого при определенном расстоянии до штрих-кодовой рейки, например 4,2 м, и при одном горизонте нивелира производится серия измерений от 15 до 20 положений рейки (прямое и обратное изображения) с нахождением величин L_i . После этого по отклонениям от среднего находится величина средней квадратической ошибки в стабильности работы отсчетной системы цифрового нивелира. Согласно нашим

исследованиям [58, 137] постоянство величин L_i сохраняется с ошибкой (нестабильностью) порядка от 0,02 до 0,03 мм.

После этого выполняется второй этап поверки. Порядок выполнения метрологической поверки следующий. На выбранном расстоянии от нивелира по круглому уровню устанавливается штрих-кодовая рейка. Для удобства выполнения измерения и повышения их точности удерживать рейку в вертикальном положении необходимо с помощью подпорок или специальных стаканов.

Нивелир и штатив первоначально опускаются на минимально возможную высоту с таким расчетом, чтобы можно было взять отсчет по самой нижней части рейки (рисунок 4.5). После этого по прямому изображению рейки производится от 10 до 15 отсчетов с последующим нахождением их среднего значения O_1 .

Затем рейка поворачивается пяткой вверх и аналогичным образом также производится от 10 до 15 отсчетов с последующим нахождением их среднего значения O'_1 . Для исключения влияния остаточной не перпендикулярности верхней плоскости оси рейки установка производится средней частью этой плоскости. В этом случае при правильной работе считывающего устройства нивелира сумма полученных отсчетов для первого горизонта будет равна длине L_1 штрихкодовой рейки с ошибкой от 0,02 до 0,03 мм [58]

$$O_1 + O'_1 = L_1, \quad (4.4)$$

Затем поднятием нивелира с помощью ножек штатива его горизонт изменяется на 10 см и указанные измерения повторяются с последующим нахождением длины L_2 для второго горизонта

$$O_2 + O'_2 = L_2. \quad (4.5)$$

Изменение горизонта нивелира со взятием отсчетов производится до тех пор, пока измерения не будут выполнены по всей длине рейки. В общем случае для прямого хода будем иметь

$$\begin{aligned}
 O_1 + O'_1 &= L_1, \\
 O_2 + O'_2 &= L_2, \\
 &\dots\dots\dots \\
 O_n + O'_n &= L_n.
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

После этого аналогичные измерения производятся в обратном направлении, при которых нивелир опускается также с интервалом от 8 до 15 см. Для обратного хода будем иметь

$$\begin{aligned}
 O_n + O'_n &= L_n, \\
 O_{n-1} + O'_{n-1} &= L_{n-1}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 O_1 + O'_1 &= L_1.
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

Если система «цифровой нивелир-штрихкодová рейка» работает нормально, то в прямом и обратном ходах должно соблюдаться (в пределах точности измерений) условие

$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = const . \tag{4.8}$$

Нарушение условия (4.8) будет свидетельствовать о наличии в работе системы «цифровой нивелир-штрихкодová рейка» определенной ошибки измерений.

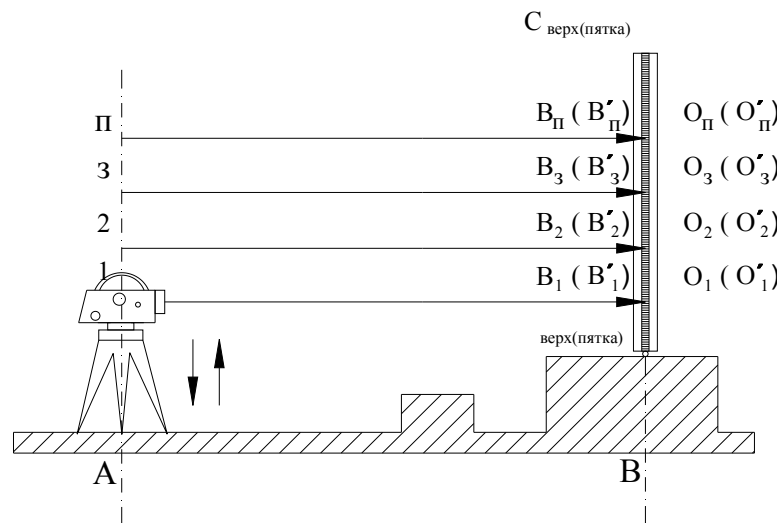


Рисунок 4.5 – Проверка по прямой и перевернутой рейке

Достоинством данной методики является двукратная поверка системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка»: по стабильности отсчетов и по стабильности суммы отсчетов. Также, с целью определения величин «ошибок взгляда» для разных расстояний, а также внутришаговых короткопериодических ошибок, эти расстояния увеличиваются. При наших исследованиях в лабораторных условиях они были равны 4,2; 7,0; 10,3 и 14,1 м, а на промплощадке 6,8 м.

Требования к условиям выполнения измерений аналогичные предыдущим.

После выполнения измерений вычисления производятся в следующей последовательности:

- находится среднее из отсчетов, взятых по прямой и перевернутой рейке для каждого горизонта нивелира в прямом и обратном ходах;

- вычисляются средние квадратические ошибки «взгляда» по прямой и перевернутой рейке для каждого горизонта и расстояния (по отклонениям от среднего);

- по формуле (4.3) вычисляется сумма отсчетов для каждого горизонта в прямом и обратном ходах;

- вычисляется разность δ_1 между суммой отсчетов смежных горизонтов;

- вычисляется разность δ_2 между суммой отсчетов в прямом и обратном ходах для каждого горизонта;

- среднюю разность из всех горизонтов для прямого и обратного хода, а также между прямым и обратным ходами;

- вычисляется средняя квадратическая ошибка измерения (по разности двойных измерений) системой «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка».

Результаты исследований нивелира DiNi 1012 и двухметровой рейки по данной методике для расстояния 6,8 м, выполненных в условиях промплощадки приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расстояние 4,3 м

Высота нивелира, м	L прямо, мм	δ_1	L обратно, мм	δ_1	δ_2
0,33	2000,143		2000,146		0,003
		0,005		0,011	
0,48	2000,148		2000,157		-0,009
		-0,014		-0,013	
0,63	2000,134		2000,134		0,000
		0,023		0,021	
0,82	2000,157		2000,155		0,002
		0,007		-0,001	
0,90	2000,164		2000,154		0,010
		-0,016		-0,016	
1,08	2000,148		2000,138		0,010
		0,004		0,018	
1,27	2000,152		2000,156		-0,004
		0,014		-0,012	
1,41	2000,166		2000,134		0,032
		-0,004		0,012	
1,56	2000,162		2000,146		0,016
		-0,014		0,006	
1,71	2000,148		2000,152		-0,004
		0,010		0,014	
1,78	2000,158		2000,166		-0,008
–	–	СР = -0,001 СР = 0,010 m = 0,009 мм ≈ 0,01 мм	–	СР = 0,004 СР = 0,011	СР = 0,004 СР = 0,009

Необходимо отметить, что полученные величины L_i для прямого и обратного ходов больше чем 2000,000 м не свидетельствуют о наличии систематической ошибки в нанесении кодированных штрихов на рейке; они свидетельствуют о том, что данная рейка изготовлена с такой длиной.

Для удобства поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодированная рейка» авторы работы [90] предложили снабжать штрихкодированную рейку двумя пятками.

В этом случае имеется возможность с помощью компаратора определять дополнительно еще и длину корпуса рейки.

Авторами работы [147] также предлагается снабжать штрихкодovou рейку двумя пятками и выполнять измерения с целью ослабления температурного влияния на длину этой рейки.

Методика метрологической поверки с использованием эталонного превышения. Данную методику удобно применять при поверке системы «цифровой нивелир-штрихкодová рейка», которая обеспечивает среднюю квадратическую ошибку измерения превышения на станции порядка 0,5 и 1,0 мм и грубее, т. е. точное и техническое нивелирование. Сущность ее заключается в измерении «эталонного» превышения, которое получено высокоточным нивелированием оптическим (типа Н05) или цифровым нивелирами [146].

При реализации данной методики в лабораторных или полевых условиях между двумя точками высокоточным нивелиром измеряется превышение со средней квадратической ошибкой порядка от 0,03 до 0,05 мм. Измерение превышения с такой ошибкой достигается по программе геометрического нивелирования короткими лучами (в нашем случае лучами длиной до 7 м) при двух-трех горизонтах нивелира [146]. Полученное превышение принимается как эталонное. После этого это превышение измеряется поверяемым цифровым нивелиром. Программа поверки включает в себя:

- трехкратное измерение эталонного превышения с последующим нахождением среднего его значения для каждого горизонта нивелира;
- изменение горизонта нивелира производится с шагом от 10 до 15 см;
- измерения выполняются в прямом и обратном направлениях и по всей длине штрихкодовой рейки.

При выполнении исследований рейки, предназначенные для технического нивелирования, также должны снабжаться круглым уровнем.

Так как длина штрихкодových реек может достигать 3,0 м, то изменение горизонта нивелира удобно проводить с установкой цифрового нивелира на ступеньки лестницы (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Результаты измерений превышений расстояния в 5,7 м.

Высота нивелира, м прямо/обратно	$h_{\text{изм}}$, мм прямо/обратно	$h_{\text{этал}}$, мм	Δ_1/Δ_2 , мм
0,32/0,35	257,6/257,5	257,48	0,12/0,02
0,51/0,50	257,4/257,2	257,48	-0,12/-0,28
0,63/0,67	257,5/257,2	257,48	0,02/-0,28
0,76/0,81	257,3/257,6	257,48	-0,18/0,12
0,95/0,92	257,4/257,7	257,48	-0,08/0,22
1,20/1,14	257,3/257,7	257,48	-0,18/0,22
1,38/1,39	257,4/257,5	257,48	-0,08/0,02
1,55/1,51	257,7/257,3	257,48	0,22/-0,18
1,87/1,83	257,6/257,2	257,48	0,12/-0,28
2,11/2,04	257,2/257,4	257,48	-0,28/-0,08
2,36/2,42	257,2/257,3	257,48	-0,28/-0,18
2,53/2,61	257,7/257,2	257,48	0,22/-0,28
2,69/2,63	257,6/257,2	257,48	0,22/-0,28
$m = 0,17/0,23$ мм		$cp = 0,003/-0,011$ мм	

После выполнения измерений производятся следующие вычисления:

- находится среднее из отсчетов для каждого горизонта цифрового нивелира в прямом и обратном направлениях;
- измеренные превышения для каждого горизонта нивелира в прямом и обратном направлениях;
- разности Δ_1 и Δ_2 между превышениями для каждого горизонта цифрового нивелира и эталонным превышением в прямом и обратном направлениях;
- среднюю квадратическую ошибку измерения превышения (по отклонениям от эталонного значения превышения) системой «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» для прямого и обратного направлений.

По окончании выполнения исследований рекомендуется проложить замкнутый нивелирный ход, длиной от 1,0 до 1,5 км. После этого можно дать объективное заключение о работе системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка».

В заключении отметим, что предлагаемые методики метрологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» не требуют дополнительных материальных затрат и удобны в применении.

4.4 Схема полевого высотного стенда на промплощадке

Для выполнения технологических поверок системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» нами на Няганской ГРЭС была разработана схема полевого высотного стенда. Данный стенд был разработан по аналогии со схемой стенда, приведенного в работе [126]. Местоположение полевого стенда было выбрано на промплощадке между двумя зданиями, осадка которых практически стабилизировалась за первый год эксплуатации.

Полевой высотный стенд имеет форму прямоугольника со сторонами 34 м и 95 м. Вершины прямоугольника опираются на эстакады технологических трубопроводов. В качестве реперов используются установленные на металлоконструкции осадочные марки М01, М02, М03 и М04 (рисунок 4.6).

Установка осадочных марок на эстакады придает им надежную конструкцию, за счет использования свайных фундаментов при их возведении. Заложенные под каждую колонну две пары свай придают прочность колоннам, и обеспечивают их долговременное стабильное положение.



Рисунок 4.6 – Марки М01 и М02 полевого высотного стенда

В центре полевого стенда расположены пять неподвижных станций. В качестве неподвижных станции использовались штативы с подвешенным грузом 5 кг (для обеспечения устойчивости). Станция II (рисунок 4.7) располагается в центре полевого стенда, станция I и III – на продольной оси на расстоянии 10 м по обе стороны от станции II. Станция IV и V (рисунок 4.8) располагается на расстоянии 50 м по обе стороны от станции II.

Методика измерений на полевом стенде аналогична методике измерений для оптических нивелиров. Невязка вычисляется по формуле [120]

$$f_{\text{дон}} = \pm 0,30\sqrt{n}, \quad (4.9)$$

где n – количество нивелирных станций.

Общая длина нивелирного хода составляет 1 км.

Средняя квадратическая ошибка измерений превышений на станции на 1 км двойного хода вычисляется по следующей формуле [126]

$$\bar{m}_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (f_{\text{пр.}j}^2 + f_{\text{обр.}j}^2)}{4n}}, \quad (4.10)$$

где $f_{\text{пр.}j}^2, f_{\text{обр.}j}^2$ – невязки в прямом и обратном направлении j -го двойного хода;

n – число двойных ходов.

В связи с тем, что строительно-монтажные работы ведутся круглогодично, то представленный полевой стенд (рисунки 4.6, 4.7) в зимний период, продолжительность которого составляет почти шесть месяцев, использовать не представляется возможным.

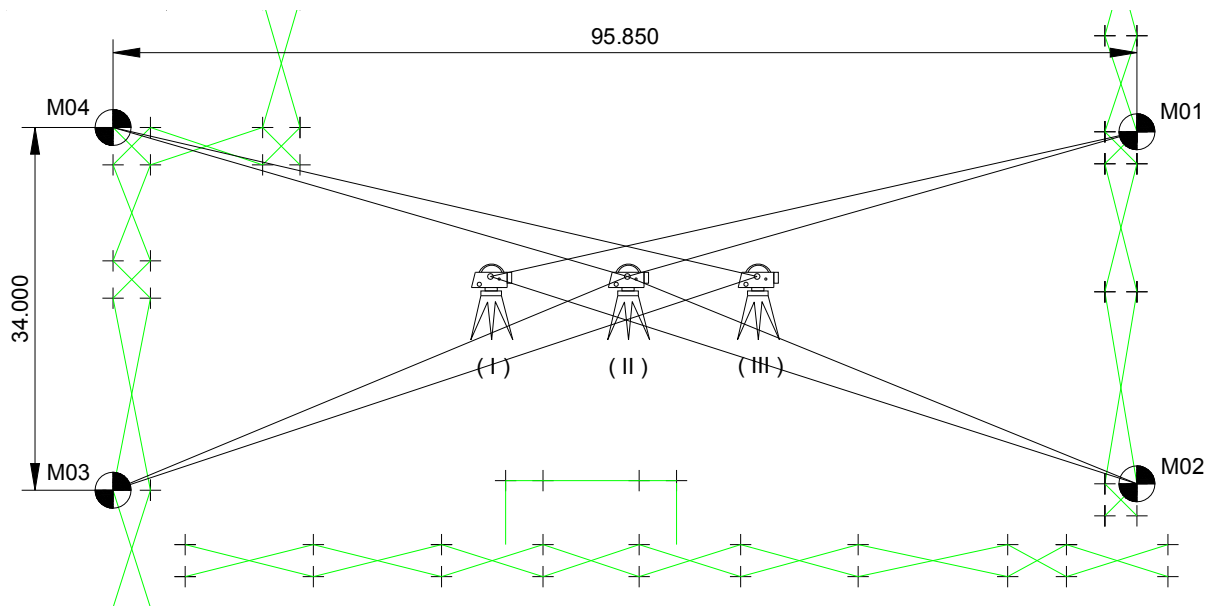


Рисунок 4.7 – Схема полевого станда на промплощадке (станция I, II и III)

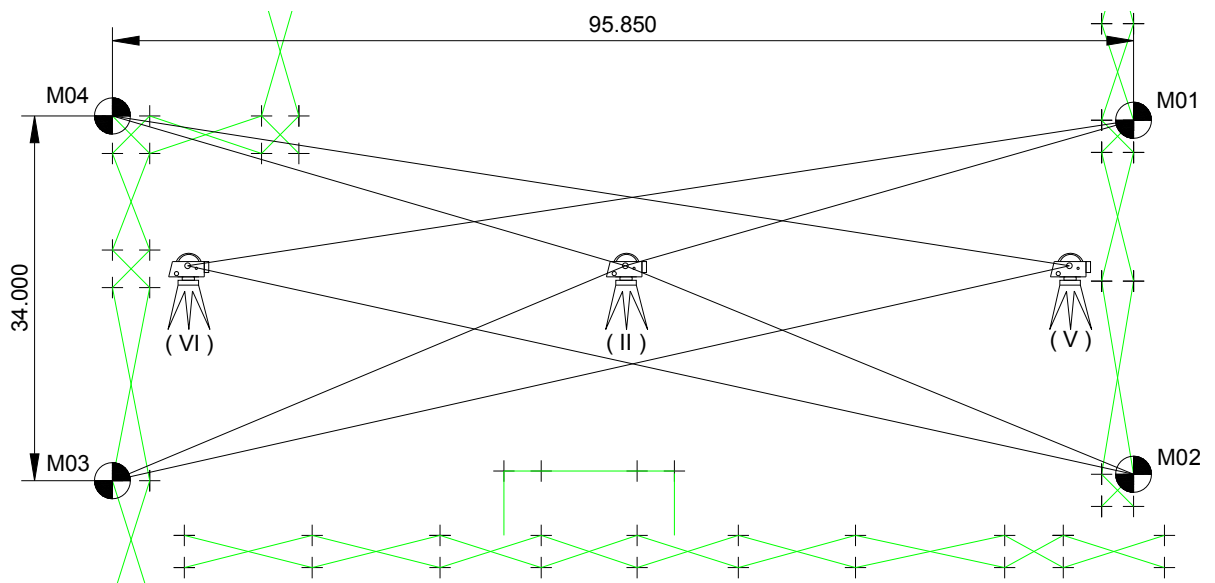
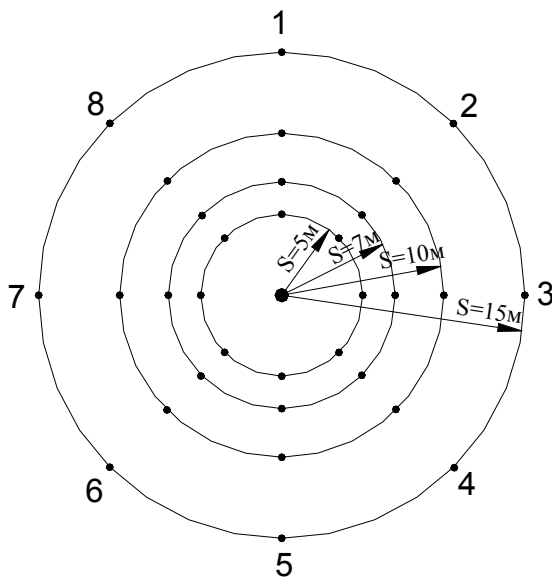


Рисунок 4.8 – Схема полевого станда на промплощадке (станция IV и V)

В связи с этим в таких условиях может быть использован круговой полевой высотный станд [144], расположенный внутри здания с бетонными полами. В отличие от высотного станда, приведенного в работах [67, 98], предлагаемый станд в диаметре составляет от 28 до 30 м (рисунок 4.9, а).



а)



б)

Рисунок 4.9 – Схема полевого высотного станда внутри здания:

а) расположение пунктов; б) внешний вид пунктов

Это обусловлено тем, что при выполнении геометрического нивелирования короткими лучами длина визирного луча редко превышает 15 м.

Сущность измерений с использованием станда заключается в том, что все измерения превышений поверяемыми нивелирами выполняются с одной точки, установленной в центре бетонной площадки. Для этого в центре устанавливается металлическая тумба с площадкой под цифровой нивелир; измерения могут также выполняться и со штатива. Перед измерением каждого превышения подъемными винтами нивелира изменяется его высота. Вокруг тумбы или штатива по окружности по направлениям на расстояниях примерно 5, 7, 10 и 15 м закрепляются точки для установки штрих-кодовых реек. В качестве таких точек могут использоваться и осадочные марки (рисунок 4.9, б).

Поверку системы «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка» можно производить с применением известных превышений между точками станда (они определяются высокоточным оптическим нивелиром типа Н05) или выполнением нивелирования в прямом и обратном направлениях с последующим использованием формулы (4.7).

Если круговой высотный стенд на промплощадке создать не представляется возможным, то в простейшем случае можно использовать две-три осадочные марки, между которыми измеряются превышения.

4.5 Исследование влияния внешних условий на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами в условиях промплощадки

Исследование влияния вертикальной вибрации. Высокоточные инженерно-геодезические измерения на промплощадке выполняются в разное время года, при различной температуре и в условиях влияния работающего оборудования. Вследствие этого средняя квадратическая ошибка угловых измерений и измерений превышений может значительно увеличиться [84, 86, 133].

Исследование влияния вибрации системы «штатив-оптический нивелир» на точность геометрического нивелирования начались выполняться в связи с применением высокоточного геометрического нивелирования для определения деформаций работающего промышленного оборудования. Исследованиями [61, 63, 133] было установлено, что авторедукционные нивелиры с визуальным отсчитыванием не только не уступают уровенным нивелирам, но и, в ряде случаев, превосходят их по эксплуатационным качествам.

В связи с тем, что выполнение высокоточных инженерно-геодезических измерений системами «цифровой нивелир-штрихкодированная рейка», а также тахеометрами выполняются в указанных условиях, то возникла необходимость выполнения исследований. Эти исследования выполнялись в течение двух лет во время выполнения очередного цикла измерений в основном на верхней плите турбоагрегата. В связи с этим был выполнен достаточно большой объем исследований при разном влиянии указанных воздействий.

Наши исследования вибрации выполнялись внутри помещения и на промплощадке во время выполнения производственных работ в реальных условиях на Барнаульской ТЭЦ и Няганской ГРЭС при определении деформаций работающих и строящихся турбоагрегатов [55, 56]. Исследования выполнялись при частоте вибрации от 20 до 50 Гц и амплитуде колебаний от 10 до 80 мкм

цифровым нивелиром Trimble DiNi 12, обеспечивающий среднюю квадратическую ошибку измерения превышения на нивелирной станции (ошибку «взгляда») в спокойных условиях $m_h = 0,04$ мм.

Исследования на Барнаульской ТЭЦ и Няганской ГРЭС выполнялись в непосредственной близости от работающих турбоагрегатов. Указанная в таблице 4.5 амплитуда колебаний является средней из многократных измерений, и она выбиралась путем установки нивелира в местах с указанными в таблице параметрами вибрации. На положение визирной оси в значительной степени оказывало и влияние турбулентность воздуха, вызванная резким перепадом температур, достигающим от плюс 60 °С до плюс 80 °С.

Так как на указанных объектах нивелирование выполнялось короткими лучами, то в таблице 4.5 приведены результаты при длинах визирных лучей до 25 м.

Таблица 4.5 – Результаты исследования влияния вибрации на результаты нивелирования на Барнаульской ТЭЦ и Няганской ГРЭС (средние значения)

Величины S , м	4,20	6,50	9,50	12,80	14,10	17,45	20,10	24,30
	$f = 50$ Гц, $A =$ от 10 до 20 мкм							
$m_{\text{взгл.}}$	0,03	0,10	0,16	0,20	0,43	0,51	0,55	0,60
m_h	0,05	0,14	0,25	0,32	0,65	0,76	0,80	0,80
	$f = 50$ Гц, $A =$ от 20 до 35 мкм							
$m_{\text{взгл.}}$	0,05	0,15	0,22	0,34	0,50	0,64	0,70	0,80
m_h	0,09	0,25	0,39	0,50	0,83	0,95	1,15	1,25
	$f = 50$ Гц, $A =$ от 35 до 60 мкм							
$m_{\text{взгл.}}$	0,08	0,22	0,36	0,55	0,72*	0,80*	0,85*	1,10*
m_h	0,15	0,35	0,48	0,70	1,00*	1,10*	1,30*	1,45*
* - Отсчёт в сериях иногда сбивались из-за возрастания амплитуды колебаний								

Исследованиями и производственными работами установлено, что при амплитуде колебаний свыше 80 мкм измерения выполнять вообще невозможно. Также установлено, что для ослабления влияния вибрации системы «цифровой нивелир-штрихкодированная рейка» на результаты измерений по аналогии с оптическими нивелирами необходимо применять амортизационные подкладки из

войлока или резины толщиной от 3 до 5 мм [62, 63]. Их применение позволяет ослабить влияния вибрации на 60 %.

Исследованиями установлено, что влияние вибрации на систему «штатив-электронный тахеометр» также как и у нивелиров приводит к непрерывному нарушению работы компенсатора при вертикальной круге [55, 56]. Кроме того, под действием вибрации зрительная труба тахеометра совместно с верхней частью тахеометра (алидадой) совершает непрерывные колебания в горизонтальной плоскости относительно лимба, что приводит к увеличению ошибки наведения и к нарушению работы угловых преобразователей горизонтального и вертикального кругов. При значительной вибрации в случае установки штатива на гладкий бетонный пол происходит разворот всей системы «штатив-электронный тахеометр». Для определения величины влияния вибрации нами были выполнены исследования по определению величины средней квадратической ошибки измерения углов в этих условиях [56].

Исследования выполнялись с помощью тахеометра Leica TCR 405 Power, обеспечивающий среднюю квадратическую ошибку измерения горизонтальных углов и углов наклона m_{α} = от 1,5" до 2,0" [172].

Программа исследований включала в себя:

- определение средней квадратической ошибки наведения и измерения углов при установке штатива на бетонный пол;
- определение средней квадратической ошибки наведения и измерения углов при установке штатива на бетонный пол с применением амортизационных подкладок.

Исследования выполнялись при возведении фундамента под строительство турбоагрегата и при работающем турбоагрегате [158].

Исследования влияния вибрации в условиях работающего турбоагрегата показали, что средние квадратические ошибки наведения и измерения углов равны (средние результаты из целого ряда серий измерений):

- при $f \approx 50$ Гц и $A =$ от 10 до 25 мкм вышеназванные ошибки равны $m_n =$ от 2,5" до 3,0"; $m_{\text{гор}} =$ от 3,5" до 4,5"; $m_{\text{вер}} =$ 2,5" до 3,2";

– при $f \approx 50$ Гц и $A =$ от 25 до 40 мкм ошибки равны $m_n =$ от 3,5" до 5,0";
 $m_{гор} =$ от 6,0" до 8,0"; $m_{вер} =$ 2,5" до 3,0";

– при $f \approx 50$ Гц и $A =$ от 40 до 55 мкм измерения выполнять практически невозможно.

Применение амортизационных подкладок также позволяет 40 % уменьшить ошибки измерения углов.

При измерении тахеометром в зимний период времени на величину ошибки измерения углов дополнительно значительное влияние оказывают конвекционные потоки воздуха, особенно на границе раздела теплого и холодного потоков. В этих условиях угловые измерения выполнять вообще невозможно. Поэтому разделить влияние каждого фактора не представляется возможным. Данный фактор необходимо принимать во внимание во время выполнения створных, угловых и координатных измерений при геодезическом обеспечении монтажа турбоагрегата.

Исследование влияние вертикальной рефракции на результаты нивелирования системой «цифровой нивелир-штрихкодовая рейка». Работы направленные, на исследования влияния вертикальной рефракции, на выполнения высокоточного геометрического нивелирования проводились несколькими десятилетиями, целым рядом зарубежных и отечественных ученых. На основании выполненных исследований на первых этапах сформировалось, что влияние рефракции на отсчеты по рейкам и на измеряемое превышение на нивелирной станции носит систематический характер и для ослабления этого влияния в результаты измеренного превышения необходимо вводить поправки. После обширных исследований, выполненных ЦНИИГАиК [51], было сделано заключение, что влияние рефракции на отсчеты по рейкам в течение всего дня носит систематический характер, но это влияние почти одинаково и на измеряемое превышение на нивелирной станции носит, в основном, случайный характер, так как это влияние значительно ослабляется программой измерения превышения на станции, а также временем его производства.

На практике наибольшее применение получил последний подход, который применяется при выполнении нивелирования в нашей стране. Необходимо отметить, что исследования ЦНИИГАиК проводились применительно к выполнению нивелирования I, II, III и IV классов [53].

Применительно к настоящему состоянию вопроса выполнения высокоточного геометрического нивелирования I и II классов, необходимо отметить, что оно также выполняется и на больших промышленных площадках, где условия выполнения нивелирования часто существенно отличаются между собой. Например, когда при взятии отчета на нивелирной станции визирный луч проходит над разной подстилающей поверхностью (травяной покров, асфальтобетон, твердый грунт, элементы строительных конструкций, трубопроводы и т. д.) [57, 105]. Кроме того, с учетом значительной насыщенности промплощадки различными сооружениями и оборудованием выполнять нивелирование приходится лучами длиной от 8 до 15 м. В таких случаях визирный луч часто проходит через сравнительно небольшие отверстия и проемы в строительных конструкциях и оборудовании размером даже 50x50 мм, т.е. над подстилающими поверхностями и под ними.

Другим отличием условий производства высокоточного государственного нивелирования I и II классов является выполнение его практически только в теплый период года (весна-осень) [28]. На промплощадке же нивелирование I и II классов часто выполняется и в зимнее время при создании исходной высотной основы или при определении осадок и деформаций сооружений и оборудования.

И, наконец, третьим отличием является применение в настоящее время для выполнения нивелирования I и II классов цифровых нивелиров, у которых отсчетывание по штрихкодовой рейке производится не одиночным лучом (рисунок 4.10, а), а угловым сектором (рисунок 4.10, в).

В связи с тем, что взятие отсчета цифровым нивелиром по штрих-кодовой рейке производится на основании другого технического решения, чем в оптическом нивелире по штриховой рейке, то в этом случае следует ожидать иного характера влияния вертикальной рефракции на измеряемое превышение.

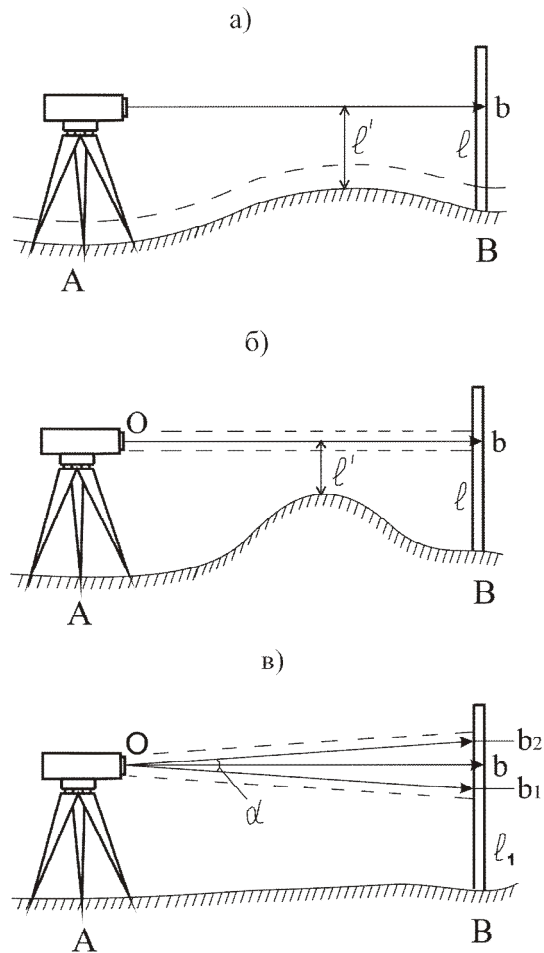


Рисунок 4.10 – Схема взятия отсчетов по рейке:
a, б) оптическим нивелиром; *в)* цифровым нивелиром

Рассмотрим в общем виде схему прохождения визирного луча от нивелира до рейки для оптических и цифровых нивелиров.

Для взятия отсчета b (рисунок 4.10, *б*) по рейке оптическим нивелиром требуется «одиночный» визирный луч Ob . При прохождении слоев воздуха этот визирный луч претерпевает рефракционные изменения своего направления, что приводит к появлению ошибок при взятии отсчета по рейке.

Применительно к цифровым нивелирам понятия одиночного визирного луча не существует, так как при взятии отсчета b (рисунок 4.10, *б*) по штрих-кодовой рейке принимают участие целый ряд смежных штрихов штрих-кода, которые находятся в угловом секторе α . Очевидно, что на лучи, заключенные в указанном угловом секторе, а также на крайние лучи Ob_1 и Ob_2 , влияние рефракции будет разное.

Для определения степени данного влияния на систему «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» нами были выполнены исследования. Измерения проводились в летний период при следующих метеорологических условиях: в солнечную погоду при температуре от плюс 6 °С до плюс 28 °С при переменной облачности и в пасмурную погоду с небольшими кратковременными дождями. Резкие порывы ветра отсутствовали. Для достоверности исследования место для измерений выбиралось наиболее приближенное к условиям промплощадки с наличием твердого покрытия щебня и песка, а также травяного покрова высотой от 10 до 15 см [57, 105, 121,122]. Исследования выполнялись нивелирами Timble Dini 12 для наклонного и практически горизонтальных участков при расстояниях до штрих-кодвых реек 15; 30 и 50 м и высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 см.

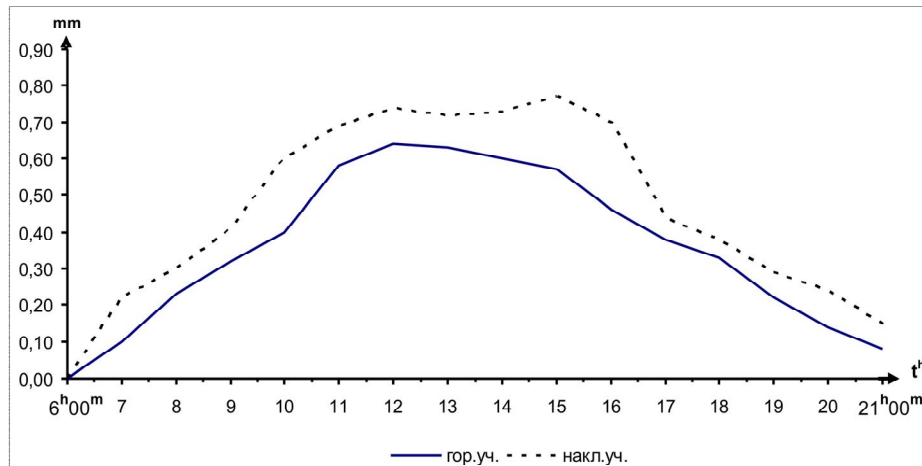
Исследованиями установлено, что при солнечной погоде и при расстоянии 15 м для горизонтального и наклонного участков влияние рефракции приводит к изменению отсчетов по рейке в течение всего дня от 0,04 до 0,15 мм. При пасмурной погоде изменение отсчетов в утренние и вечерние периоды были незначительными и находились в пределах от 0,05 до 0,08 мм. Это означает, что при нивелировании короткими лучами этим изменением можно пренебречь.

При расстоянии 30 м изменение отсчетов для травяного покрытия на равнинном участке было в пределах от 0,18 до 0,26 мм, а для твердого покрытия от 0,24 до 0,32 мм. При пасмурной погоде изменение отсчетов в среднем было от 0,08 до 0,22 мм. Для наклонного участка в утренние и вечерние часы наблюдалось изменение отсчетов примерно на 30 % больше, чем на равнинном участке.

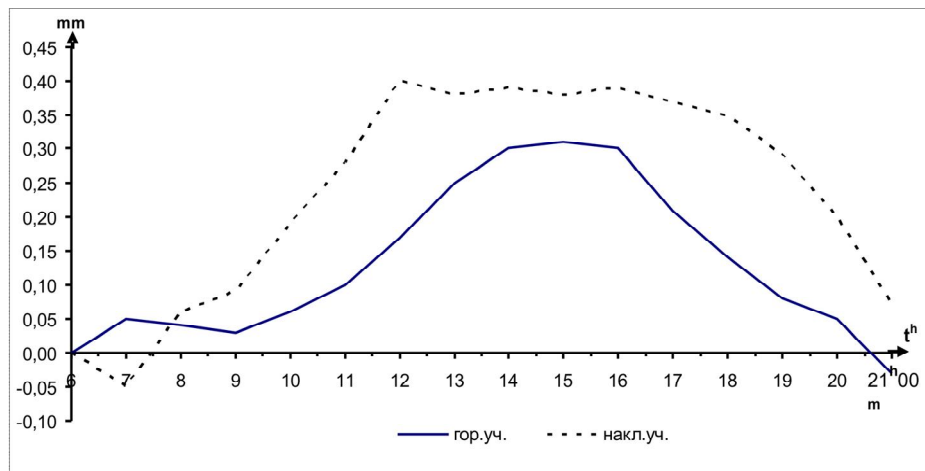
При расстоянии 50 м для травяного покрова и для твердого покрытия на равнинном участке увеличение (уменьшение) отсчетов по рейке в периоды восхода и захода Солнца было в пределах от 0,46 до 0,68 мм, а на наклонном участке от 0,52 до 0,76 мм (рисунок 4.12, а). В условиях пасмурной погоды изменение отсчетов было, соответственно, от 0,30 до 0,35 мм и от 0,26 до 0,32 мм (рисунок 4.12, б).

В результате выполненных исследований был получен важный результат, заключающийся в том, что на результаты нивелирования цифровым нивелиром

вертикальная рефракция оказывает меньшее влияние, чем на оптические. Следовательно, при выполнении нивелирования в условиях промплощадки высоту визирного луча над подстилающей поверхностью или строительными конструкциями можно принимать любой, за исключением сильно нагретых частей, например паропроводов.



а)



б)

Рисунок 4.12 – График влияние вертикальной рефракции на результаты измерений цифровым нивелиром: а) в солнечную погоду; б) в пасмурную погоду

Высокоточное геометрическое нивелирование при работах связанных с наблюдением за осадками зданий, сооружений и основного оборудования, выполняется при положительных температурах, но иногда возникает необходимость в проведении таких работ и при отрицательных температурах. Например, при выполнении циклов нивелирования, в зимний период

прокладываются нивелирные ходы по территории промплощадки от глубинного репера до марок расположенных внутри цеха. В зависимости от размеров промплощадки количество штативов в таком ходе может достигать восьмидесяти и более. В связи с этим, были проведены исследования влияния вертикальной рефракции на высокоточное нивелирование, по территории промплощадки, цифровым нивелиром в условиях отрицательных температур и при наличии снежного покрова[122].

Исследования проводились весной (март и апрель) 2011 года в течение недели на территории промплощадки Няганской ГРЭС, при следующих метеорологических условиях: в яркую солнечную погоду, при средней температуре воздуха минус 15 °С и отсутствии, в течение всего дня, резких порывов ветра. Для исследования был выбран высокоточный цифровой нивелир Trimble Dini 12 с немецкой оптикой Carl Zeiss. Рабочий диапазон температур которого позволяет производить измерения в пределах от минус 20 °С до плюс 50 °С. Подстилающей поверхностью служил снежный покров, высота которого достигала от 20 до 30 см. Профиль подстилающей поверхности был практически равнинный. Для исключения попадания солнечных лучей в объектив нивелира (особенно во время его восхода или захода) штрихкодвые рейки устанавливались по направлению север-юг. Исследования производились для расстояний 25 и 50 м [122].

По итогам исследования установлено, что характер влияния вертикальной рефракции приземного слоя атмосферы при положительных и отрицательных температурах существенно различается. Отличие состоит в том, что при отрицательных температурах отсчеты по рейке в полуденное время уменьшаются (рисунок 4.13). Это уменьшение для указанных расстояний не превосходит 0,4 мм. Применительно к выполнению нивелирования короткими лучами это уменьшение также незначительно. Оно не может накладывать ограничений на высоту визирного луча, так как программа наблюдений на станции симметрична во времени [122].

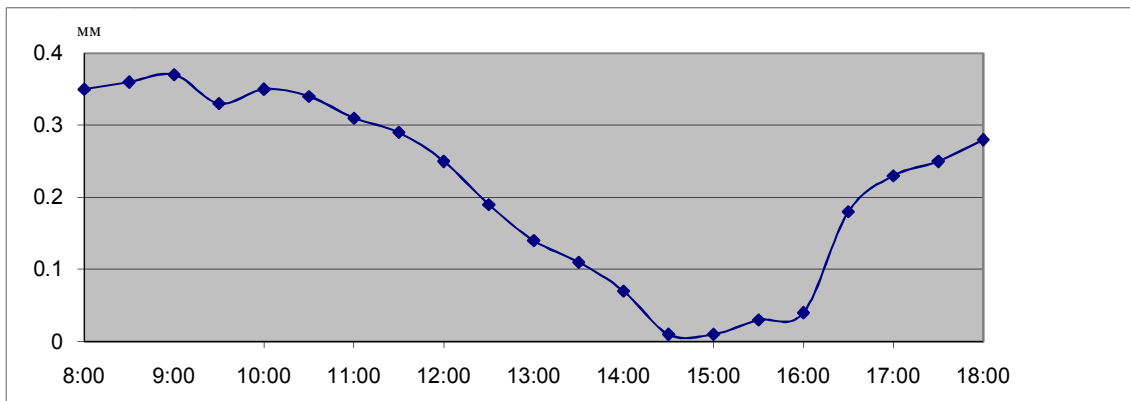


Рисунок 4.13 – Величина изменения отсчетов по рейке при отрицательной температуре в зависимости от времени выполнения измерения

Установлено, что при выполнении нивелирования при отрицательной температуре на точность измерений превышения заметное влияние оказывает нагрев солнечными лучами ножек штатива [122]. Это приводит к заметному оседанию системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» на нивелирной станции. Данный фактор хорошо известен при выполнении государственного нивелирования I и II классов, где такое оседание достигает от 0,05 до 0,10 мм. Однако, в условиях промплощадки время пребывания и выполнения нивелирование на станции во время проведения строительно-монтажных работ может достигать 20 минут и более. Вследствие этого величина перемещение системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка» может достигать от 1,0 до 2,0 мм и более. В этих условиях нами рекомендуется всегда закрывать снегом или мягким материалом наконечники штатива.

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 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 выполнения геодезических работ для обеспечения геометрии возводимых градирен с железобетонным или металлическим каркасами. Для этого разработаны методики выполнения измерений 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;

– разработана методика разбивки круговых подкрановых путей, предназначенных для возведения каркаса башенных градирен с металлическим каркасом. Эта методика позволяет производить установку рельсов сразу по всей окружности или только по секторам;

– разработана технологическая схема производства инженерно-геодезических работ при возведении системы «турбоагрегат-фундамент-основание». Данная схема включает в себя: комплекс работ, необходимых при сооружении основания и фундаментов, нижнего и верхнего строения фундамента турбоагрегата, выноса и монтажа закладных деталей, методики разбивки главных осей на монтажных горизонтах, 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;

- выполнено необходимое число и последовательность циклов высокоточного геометрического нивелирования при монтаже фундамента турбоагрегата с целью определения деформаций линии валопровода. Полученные результаты измерений позволяют определить время выполнения окончательной центровки роторов и закрытия цилиндров;

- разработаны методики проведения внеочередной технологической поверки системы «цифровой нивелир-штрихкодвая рейка». Эта методика позволяет производить поверку системы непосредственно на объекте выполнения работ;

- разработана схема полевого метрологического стенда для проведения внеочередных поверок тахеометров и цифровых нивелиров. Она позволяет контролировать работоспособность указанных приборов непосредственно на территории промплощадки после случайных механических ударов;

- выполнены исследования влияния вибрации и вертикальной рефракции на результаты измерений цифровыми нивелирами и тахеометрами. На основании выполненных исследований приведены способы, направленные на ослабление влияния данных факторов в условиях промплощадки.

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 1000 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-кодвых реек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А. с. 1044975 СССР. Способ гидродинамического нивелирования [Текст] / Р. А. Мовсесян, А. М. Бархударян, П. В. Амбарцумян (СССР). – № 3367285; заявл. 11.12.1981; опубл. 30.09.1983, Бюл. – № 36.
- 2 А. с. 1109582 СССР. Способ гидродинамического нивелирования [Текст] / К. Р. Трозян (СССР). – № 3573931; заявл. 04.04.1983; опубл. 23.08.1984, Бюл. – № 6.
- 3 А. с. 1397735 СССР. Способ гидродинамического нивелирования [Текст] / К. Р. Трозян (СССР). – № 3908060; заявл. 11.06.1988; опубл. 23.05.1988, Бюл. – № 19.
- 4 А. с. 1428917. Способ гидродинамического нивелирования и устройство для его осуществления [Текст] / Уставич Г. А. – № 4149910; заявл. 20.11.1986; опубл. 07.10.1988, Бюл. – № 21.
- 5 А. с. 1569542. Способ гидронивелирования [Текст] / Уставич Г. А. – № 4407764; заявл. 08.02.1988; опубл. 07.06.1990, Бюл. – № 21.
- 6 А. с. 265472 СССР. Гидростатический нивелир [Текст] / И. Ю. Васютинский, Е. Б. Ключин (СССР). – № 1265255; заявл. 29.08.1968; опубл. 01.01.1970, Бюл. – №10.
- 7 А. с. 546777 СССР. Способ гидродинамического нивелирования [Текст] / А. А. Мартиросян, Р. А. Мовсесян, И. Т. Таплашвили, Г. А. Бабаян (СССР). – № 2101647; заявл. 22.01.1975; опубл. 15.02.1977, Бюл. – № 6.
- 8 Абалаков, Б. В. Монтаж паровых турбин и вспомогательного оборудования [Текст] / Б. В. Абалаков, В. П. Банник, Б. И. Резников. – М.: Энергия, 1966. –152 с.
- 9 Абалаков, Б. В. Монтаж турбоагрегатов и синхронных компенсаторов [Текст]: учебник для сред. проф.-тех. училищ / Б. В. Абалаков, Б. И. Резников. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1983. – 296 с.: ил.
- 10 Аврунев, Е. И. Анализ стабильности исходных пунктов на основании спутниковых определений в геодезической сети сгущения [Текст] / Е. И. Аврунев // Гео-Сибирь – 2010. VI Междунар. науч. конгр.: «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Ч. 2. – С. 127–133.

- 11 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] в 2 т. Т. 1. / К. М. Антонович. - М.: Картоцентр, 2005. – 334 с.
- 12 Асташенков, Г. Г. Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования [Текст] / Г. Г. Асташенков. – М.: Недра, 1986. – 150 с.
- 13 Афонин, Д. А. Геодезический контроль деформаций при строительстве городских подземных сооружений открытым способом [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Д. А. Афонин. – СПб., 2013. – 24 с.
- 14 Афонин, Д. А. Контроль стабильности пунктов плановой геодезической сети при геодезическом контроле деформаций инженерных сооружений [Текст] / Д. А. Афонин // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 6 – 11.
- 15 Афонин, Д. А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории [Текст] / Д. А. Афонин // Геодезия и картография. – 2011. – № 9. – С. 16 – 22.
- 16 Афонин, Д. А. Построение геодезической разбивочной сети, закрепляемой пленочными отражателями [Текст] / Д. А. Афонин // Записки Горного института. – СПб.: РИЦ Горного ун-та. – 2012. – Т.199. – С. 301 – 308.
- 17 Ашраф А. Бешр. Разработка и совершенствование технологий определения деформаций инженерных сооружений с помощью современных высокоточных геодезических способов и средств измерений [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. / А. Бешр. Ашраф. – Новосибирск, 2010. – 205 с.
- 18 Беспалов, Ю. И. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами [Текст] / Ю. И. Беспалов, С. Г. Мирошниченко // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С.12 – 13.
- 19 Беспалов, Ю. И. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования [Текст] / Ю. И. Беспалов, Ю. П. Дьяконов, Т. Ю. Терещенко // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С.8 – 10.
- 20 Большаков, В. Б. Высокоточные геодезические измерения для строительства и монтажа большого серпуховского ускорителя [Текст] / В. Б. Большаков. – М.: Недра, 1968.

- 21 Большаков, В. Д. О поверке главного условия нивелира [Текст] / В. Д. Большаков // Труды НИИГАИК. – 1962. – Вып. 44.
- 22 Брайт, П. И. Геодезические методы определения деформаций и сооружений [Текст] / П. И. Брайт. – М.: Недра, 1965. – 464 с.
- 23 Буш, В. В. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа [Текст] / В. В. Буш, В. В. Калугин, А. И. Саар. – М.: Недра, 1985. – 216 с.
- 24 Быков, А. Н. Желаемое и действительное в геометрическом моделировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sapri.ru/Article.aspx?id=6692> – Загл. с экрана.
- 25 Васютинский, И. Ю. Гидронивелирование [Текст] / И. Ю. Васютинский. – М.: Недра, 1983. – 179 с.
- 26 Визиров, Ю. В. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров [Текст] / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалёв, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17 – 19.
- 27 Войтенко, А. В. Определение крена рабочей башни элеватора на основе данных спутникового позиционирования и наземных геодезических наблюдений [Текст] // Геодезия и картография. – 2011. – № 12. – С. 10 – 15.
- 28 Вшивкова, О. В. О комплексном подходе к решению рефракционной проблемы [Текст] / О. В. Вшивкова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 4. – С. 41 – 46.
- 29 Ганьшин, В. Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей [Текст] / В. Н. Ганьшин, И. М. Репалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 120 с.
- 30 Ганьшин, В. Н. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов [Текст] / В. И. Ганьшин, А. Стороженко, Н. А. Буденков. – М.: Недра, 1981.
- 31 Генике, А. А. О методах метрологического контроля спутниковых координатных определений [Текст] / А. А. Генике, Л. М. Бланк, В. С. Чудковский // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29.

32 Генике, А. А. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений [Текст] / А. А. Генике, Л. М. Бланк // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.

33 Геодезические разбивочные работы [Текст] / Н. Г. Видуев, П. И. Баран, С. П. Войтенко и др. – М.: Недра, 1973. – 216 с.

34 Голыгин, Н. Х. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира Dini 10 [Текст] / Н. Х. Голыгин, Д. А. Шаимкулов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106–116.

35 Голыгин, Н. Х., Перспективы использования измерительных систем «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» / Н. Х. Голыгин, Ю. Е. Федосеев, П. А. Черепанов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 13 – 16.

36 Голыгин, Н. Х. Стенд для аттестации вертикальных угловых измерительных систем геодезических приборов [Текст] / Н. Х. Голыгин, С. В. Травкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 2. – С. 128–131.

37 ГОСТ 21780–2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности [Текст]. – М.: Центр метрологии нормирования и стандартизации в строительстве, 2008.

38 ГОСТ 24846–81. Грунты. Методы измерения деформаций зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 01.01.1982. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1981.

39 ГОСТ 51248-99. Пути наземные рельсовые крановые. Общие технические требования [Текст]. – М.: Госстрой России, 1999.

40 ГОСТ 51872–2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения [Электронный ресурс]: Постановление № 120 от 21.11.2001 // Консультант Плюс.

41 Гуляев, Ю. П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю. П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.

42 Гуляев, Ю. П. Задачи экологического и деформационного мониторинга [Текст] / Ю. П. Гуляев, А. И. Каленицкий // Геодезия и картография. – 1999. – № 3. – С. 49 – 53.

- 43 Дворецкий, Н. П. Исследование точности угловых измерений в условиях строительства АЭС [Текст] / Н. П. Дворецкий // Энергетическое строительство. – 1982. – № 5. – С. 70 – 71.
- 44 Дон, Э. А. Измерение расцентровки турбоагрегата мощностью 300 МВт стационарным гидронивелиром [Текст] / Э. А. Дон, Г. А. Тимофеев // Электрические станции. – 1982. – № 9. – С. 35 – 38.
- 45 Дон, Э. А. Расцентровка подшипников турбоагрегатов [Текст] / Э. А. Дон, В. П. Осоловский. – М.: Энергия, 1994. – 273 с.
- 46 Жуков, Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий [Текст]: монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
- 47 Жуков, Б. Н. Определение центровок роторов турбоагрегатов геометрическим нивелированием [Текст] / Б. Н. Жуков, Г. А. Уставич // Геодезия и картография. – 1977. – № 7. – С. 25 – 30.
- 48 Иванов, В. Г. Влияние угла i на результаты нивелирования [Текст] / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. – 1983. – № 9. – С. 19 – 22.
- 49 Иванов, В. Г. Об одном из главных источников ошибок точного и высокоточного нивелирования [Текст] / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. – 1998. – № 4. – С. 21 – 26.
- 50 Иванов, В. Г. Тепловое воздействие на нивелир [Текст] / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. – 1998. – № 8. – С. 19 – 24.
- 51 Изотов, А. А. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования [Текст] / А. А. Изотов, Л. П. Пеллинен // Труды ЦНИИГАиК. – М.: Геодезиздат, 1955. – Вып. 102. – 176 с.
- 52 Инженерно-геодезические работы для проектирования и строительства энергетических объектов [Текст]: учебник для техникумов / А. А. Карлсон, Л. И. Пик, О. А. Пономарев, В. И. Сердюков. – М.: Недра, 1986. – 349 с.
- 53 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов [Текст]. – М.: Недра, 1990. – 168 с.
- 54 Интуилов, И. П. Инженерная геодезия в строительном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. П. Интуилов; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2004. – 329 с.

55 Исследование влияния 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. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» : сб. материалов в 6 т., Новосибирск, 19 – 29 апреля 2010 г. – Новосибирск: СГГА. – 2010 – Т.1, ч.1 – С. 28 – 33.

56 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.

57 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.

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

59 Каленицкий, А. И. Геодезическо-гравиметрический мониторинг техногенной геодинамики инженерных сооружений [Текст] / А. И. Каленицкий // Геодезия и картография. – 2000. – № 8. – С. 24 – 27.

60 Кафтан, В. И. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых наблюдений [Текст] / В. И. Кафтан, П. А. Докунин // Геодезия и картография. – 2007. – № 9. – С. 18–21.

61 Кирьянов, Ю. В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании [Текст] / Ю. В. Кирьянов // Геодезия и картография. – 1987. – № 3. – С. 12 – 16.

62 Кирьянов, Ю. В. Влияние вибрации на устойчивость штативов [Текст] / Ю. В. Кирьянов, Н. М. Комар // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1984. – № 4. – С. 112 – 117.

63 Кирьянов, Ю. В. Исследование метода виброизоляции для защиты геодезических приборов от вибрационного воздействия [Текст] / Ю. В. Кирьянов, В. А. Перов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1986. – № 1. – С. 110 – 115.

64 Кочетов, Ф. Г. Исследование чувствительности нивелиров с компенсаторами к магнитным полям [Текст] / Ф. Г. Кочетов, Ю. С. Гусев, Э. Ф. Кочетова // Геодезия и картография. – 2001. – № 3. – С. 11 – 16.

65 Кочетова, Э. Ф. Взаимодействие магнитного поля Земли (МПЗ) с конструктивными элементами нивелиров с компенсаторами [Текст] / Э. Ф. Кочетова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. – № 2. – С. 78–88.

66 Крылов, В. Д. Роль компараторов в обеспечении единства измерений [Текст] / В. Д. Крылов, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46 – 50.

67 К вопросу метрологического обеспечения нивелиров [Текст] / Г. А. Уставич, К. Б. Хасенов, М. Е. Рахымбердина, К. М. Калеева // Перспективы развития водо- и энергосберегающих технологий и охраны труда: сб. материалов Междунар. научно.-практ. конф., 24-25 мая 2007 г., Алматы. – Алматы: КазГАСА, 2007. – С. 94 – 97.

68 Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М.: Недра 1981. – 438 с.

69 Лукин, А. С. Геодезические засечки и их точность при производстве кадастровых работ [Текст] / А. С. Лукин, А. М. Портнов // Вестник СГГА. – 2011. – № 3(16). – С. 53 – 59.

70 Лысов, Г. Ф. Поверки и исследования теодолитов и нивелиров в полевых условиях [Текст] / Г. Ф. Лысов. – М.: Недра, 1978. – 96 с.

71 Малиновский, А. Л. Разработка технологий геодезического обеспечения эксплуатации основного оборудования (на примере Ленинградской и Чернобыльской АЭС) [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук./ Малиновский Александр Леонидович. – Новосибирск, 1998. – 200 с.

72 Малюх, В. Н. Введение в современные САПР [Текст]: курс лекций / В. Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.

73 Михелев, Д. Ш. Координатный метод разбивочных работ [Текст] / Д. Ш. Михелев, В. А. Шлепы, Ю.Д. Михелев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 1. – С. 17–21.

74 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., 8-18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» : сб. материалов в 2 т. Т.1. – Новосибирск : СГГА, 2014. – С.7 – 13.

75 Мониторинг деформационных процессов строительных и инженерных объектов [Электронный ресурс]. – Центр «Геодинамика». МИИГАиК. – Режим доступа: <http://www.geodinamika.ru/main/engineer/deformation-monitoring>

76 Мурзайкин, И. Я. Геодезические знаки (центры) при создании опорных межевых сетей [Текст] / И. Я. Мурзайкин, Н. И. Сивакова // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 12 – 15.

77 Назаров, И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. – Вып. 2(16). – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=548>.

78 Научно-технический отчет. Ленинградская АЭС-2. Проект производства геодезических работ. Развитие внутренней разбивочной основы для монтажа технологического оборудования [Текст] / А. П. Карпик, Д. А. Черепанов, Г. А. Уставич, В. А. Скрипников, А. Г. Неволин; ФГБОУ ВПО СГГА. – Новосибирск, 2012. – 130 с.

79 Научно–технический отчет. Разработка проекта производства геодезических работ на строительство фундаментной части сооружений Балтийской АЭС [Текст] / А. П. Карпик, Д. А. Черепанов, Г. А. Уставич, В. А. Скрипников, А. Г. Неволин; ФГБОУ ВПО СГГА. – Новосибирск, 2012. – 31 с.

80 Нестеренок, В. Ф. О пассивной защите геодезических приборов от вибрации [Текст] / В. Ф. Нестеренок // Геодезия и картография. – 1985. – № 9. – С. 29 – 32.

81 Олейник, А. М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности [Текст] / А. М. Олейник // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» :

сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т.1, ч.1. – С. 37 – 40.

82 Определение геометрических параметров подкрановых путей полярного крана [Текст]/ Г. А. Уставич, Е. М. Сапронов, С. В. Демин, Ю. И. Кирочкин // Геодезия и картография. – 2003. - № 12. - С.12 – 20.

83 Панкрушин, В. К. Методика прогнозирования вертикальных смещений турбоагрегатов АЭС на основе пространственно – временных моделей состояния и фильтра Калмана-Бьюси [Текст] / В. К. Панкрушин, В. Ф. Шаульский, Е. А. Васильев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –1986. –№ 2. – С. 3–13.

84 Парвулюсов, Ю. Б. Стенд для метрологической аттестации высокоточных угломерных приборов [Текст] / Ю. Б. Парвулюсов, Б. В. Гончаров // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 6. – С. 157 – 162.

85 Перепечкин, А. А. Определение деформаций верхней плиты турбоагрегатах мощностью 800 МВт Славянской ГРЭС [Текст] / А. А. Перепечкин // Электрические станции. – 1974. – № 9. – С. 50 –52.

86 Пик, Л. И. О постановке метрологического обеспечения эксплуатации геодезических приборов [Текст] / Л. И. Пик // Геодезия и картография. – 1987. – № 8. – С. 10 – 11.

87 Пискунов, А. М. О точности превышений, полученных из тригонометрического нивелирования короткими лучами [Текст] / А. М. Пискунов, Н. И. Майоров // Геодезия и картография. –1990. – № 1. – С.12 – 14.

88 Пискунов, М. Е. Метод высокоточного тригонометрического нивелирования короткими (до 100 м) лучами [Текст] / М. Е. Пискунов, Ван Дау Нгуен // Геодезия и аэрофотосъемка. – 1971. – № 6. – С.37 – 48.

89 Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений [Текст] / М. Е. Пискунов. – М.: Недра, 1980. – 248 с.

90 Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек [Текст] / Н. Х. Голыгин и др. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93 – 97.

91 Подшивалов, В. П. Тригонометрическое нивелирование коротким лучом / В. П. Подшивалов, Али Салим // Геодезия и картография. –1994. – № 6. – С. 18 – 19.

- 92 Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84) [Текст]. – М.: ВНИИ ВОДГЕО Госстрой СССР, 1984. – 133 с.
- 93 Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03-84) [Текст]. – ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1985.
- 94 Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей [Текст]. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993.
- 95 Раинкин, В. Я. Определение деформации сооружения башенного типа посредством измерения горизонтальных и вертикальных углов с одного опорного пункта [Текст] / В. Я. Раинкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1972. – № 3. – С. 23 – 25.
- 96 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования [Текст] // Г. А. Уставич, С. В. Демин, Е. Л. Шальгина, Я. Г. Пошивайло // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С.12 – 14.
- 97 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом [Текст] // Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С.17 – 22.
- 98 Рахымбердина, М. Е. К вопросу метрологического обеспечения нивелиров [Текст] / М. Е. Рахымбердина // Вестник ВКГТУ. – 2007. – № 3. – С. 31 – 35.
- 99 Рекомендации по обследованию фундаментов турбоагрегатов на ТЭС, подлежащих реконструкции [Текст]. – М.: Служба передового опыта ОРГЭС, 1991. – 32 с.
- 100 РД 22-28-36-01. – Краны грузоподъемные. Типовые программы и методики испытаний [Текст]. – М.: ПИО ОБТ, 2002.
- 101 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 [Текст]. – М.: ОргрЭС, 1997. – 63 с.
- 102 Руководство по наблюдениям за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений [Текст]. – М.: Стройиздат, 1985. – 160 с.

103 Руководство по эксплуатации электронного тахеометра Leica arctic power 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.leica-geosystems.ru/ru/Leica-FlexLine-plus_99082.htm – Загл. с экрана.

104 Рябова, Н. М. Исследование влияния различной освещенности на отчеты по рейке [Текст] / Н. М. Рябова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т.1, ч.1. – С. 42-46;

105 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, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т.1, ч.1. – С.12 – 17.

106 Рязанцев, Г. Е. Применение оптических измерительных систем на основе современных электронных тахеометров для контроля за деформациями наземных зданий и сооружений [Текст] / Г. Е. Рязанцев, И. С. Бубман // ОФМГ. – 2003. – № 4.

107 Рязанцев, Т. Е. Современные автоматизированные системы контроля деформаций высотных зданий [Текст] / Т. Е. Рязанцев, С. П. Буюкяп, И. А. Седельникова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 2.

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

109 Сальников, В. Г. Современная методика выноса главных осей турбоагрегатов [Текст] / В. Г. Сальников // Вестник СГГА. – 2014. – № 1 (25). – С. 27 – 34.

110 Сальников, В. Г. Технологическая схема разбивки круговых рельсов [Текст] / В. Г. Сальников // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография,

маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т.1, ч.1. – С.108 – 113.

111 Сальников, В. Г. Технология геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата мощностью 420 МВт [Текст] / В. Г. Сальников // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т.1, ч.1. – С.18 – 24.

112 Сальников, В. И. О поверках геодезических приборов [Текст] / В. И. Сальников // Геодезия и картография. – 1989. – № 5. – С. 27 – 28.

113 Скрипников, В. А. Технологическая схема геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора [Текст] / В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. – Т.1. – С. 46–52.

114 Скрипникова, М. А. Разработка и совершенствование методик геодезических измерений для обеспечения эксплуатации гидротехнических сооружений и оборудования [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / М. А. Скрипникова. – Новосибирск., 2012. – 24 с.

115 СНиП 2.09.03–85 Сооружения промышленных предприятий [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 73 с.

116 СНиП 3.01.03–84. Геодезические работы в строительстве [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 43 с.

117 СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. Государственный строительный комитет [Текст]. – М., 1987. – 90 с.

118 СО 34.21.644. Методические указания по диагностике строительных конструкций производственных зданий и сооружений энергопредприятий [Текст]. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1986. – 61 с.

119 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 [Текст]. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС. – 20 с.

120 СО 153-34.21.322-2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций [Электронный ресурс]. – М.: Орггрэс, 2005. – 61 с.

121 Соболева, Е. Л. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Е. Л. Соболева, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т.1, ч.1. – С. 32 – 36.

122 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, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). –Новосибирск: СГГА, 2012. – Т.1. – С. 81 – 84.

123 Соболева, Е. Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования I, II классов с применением цифровых нивелиров [Текст] : дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Соболева Екатерина Леонидовна. – Новосибирск, 2008. – 186 с.

124 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. 48 – 54.

125 Соколов, Ю. Г. О демпфировании колебаний зрительных труб прецизионных нивелиров [Текст] / Ю. Г. Соколов // Сб. науч. Тр. Томского инженерно-строит. ин-та. – 1971. – № 17.– С. 75 – 78.

126 Спиридонов, А. И. Основы геодезической метрологии [Текст]. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2003. – 247 с.

127 Справочник геодезиста [Текст]: в 2х кн. Кн.1 / под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 455 с.

128 Справочник по геодезическим разбивочным работам [Текст] / Г. В. Багратуни, В. Ф. Лукьянов, Я. А. Сокольский, А. Н. Сухов. – М.: Недра 1982. – 128 с.

129 Справочник по инженерной геодезии [Текст] / под общ. ред. Н. Г. Видуева. – Киев: Вища школа, 1978. – 376 с.

130 Сундаков, Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий [Текст] / Я. А. Сундаков. – М.: Недра, 1980. – 343 с.

131 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.

132 Травкин, С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер [Текст] / С. В. Травкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97–100.

133 Уставич, Г. А. Влияние внешних факторов при наблюдениях за оборудованием [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. – 1979. – № 5. – С. 31–33.

134 Уставич, Г. А. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации турбоагрегатов [Текст] / Г. А. Уставич, А. Л. Малиновский, Д. А. Черепанов // Геодезия и картография. – 1979. – № 10. – С. 29–34.

135 Уставич, Г. А. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации крупных энергетических объектов [Текст] / Г. А. Уставич, Г. Д. Костина. – М.: Недра, 1983. – 130 с.

136 Уставич, Г. А. Исследование деформаций верхнего строения фундаментов турбоагрегатов [Текст] / Г. А. Уставич, Б. Н. Жуков, А. Л. Малиновский // Геодезия и картография. – 1978. – № 9. – С. 34–37.

137 Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров [Текст] / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3–8.

138 Уставич, Г. А. Комплекс геодезических измерений при эксплуатации мощных турбоагрегатов Ленинградской АЭС [Текст] / Г. А. Уставич, О. Л. Тыщук, Д. А. Черепанов // Материалы Всесоюзной конференции «Геодезические работы при

монтаже и эксплуатации технологического оборудования». – Новосибирск, 1978. – С. 17–19.

139 Уставич, Г. А., Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» [Текст] / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8–13.

140 Уставич, Г. А. Некоторые вопросы технологии выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич, С. А. Бабасов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8-18 апреля 2014 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 2 т. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т.1 – С.17–23.

141 Уставич, Г. А. Определение крена сооружений башенного типа CPS-приемниками и тахеометрами [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. – 2003. – № 9. – С. 30–33.

142 Уставич, Г. А. Совершенствование схем метрологической аттестации цифровых нивелиров и реек [Текст] / Г. А. Уставич, К. Б. Хасенов, М. Е. Рахымбердина // Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами: сб. материалов Междунар. науч. конфер., 18-19 сент. 2012 г., Алматы. – Алматы: КазНТУ, 2012. – С. 188–193.

143 Уставич, Г. А. Системы гидронивелирования с запиранием жидкости [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. –1989. – № 6. – С. 18–21.

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

145 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.

146 Уставич, Г. А. Технология выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. –2006. – № 2. – С. 3–6.

147 Черепанов, П. А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир+две штрих-кодовые рейки» [Текст] / П. А. Черепанов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 119 – 122.

148 Шаульский, В. Ф. Геодезические методы диагностики состояния энергоблоков АЭС [Текст] / В. Ф. Шаульский // Геодезия и картография. – 1996. – № 3. – С. 31 – 34.

149 Шаульский, В.Ф. Методика геометрического нивелирования в условиях низкочастотной вибрации [Текст] / В. Ф. Шаульский // Межвуз. сб. Применение геодезических методов при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. – 1979. – Т.7. – С. 123 – 128.

150 Шеховцев, Г. А. Теоретические основы одностороннего координатного способа определения крена сооружения башенного типа [Текст] / Г. А. Шеховцев, Р. П. Шеховцева // Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –2012. – № 5. – С. 30 – 31.

151 Эксплуатация фундаментов энергетического оборудования ТЭС [Текст] / В. П. Осоловский и др. – М.: Энергия, 1980. – 168 с.

152 Электронные тахеометры / компании «НАВГЕОКОМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.navgeocom.ru/catalog/taheom/index.htm>.

153 Ямбаев, Х. К. Геодезическое инструментоведение [Текст] / Х. К. Ямбаев. – М.: Академический проект, 2011. – 585 с.

154 Ямбаев, Х. К. Инженерно-геодезические инструменты и системы [Текст]: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2012 – 462 с.: ил.

155 Ямбаев, Х. К. О возможности использования спутниковых GPS/ГЛОНАСС измерений для контроля вертикальности при возведении высотных сооружений [Текст] / Х. К. Ямбаев // Изв. Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 4. – С. 36 – 40.

156 Яндров, И. А. Возможности использования спутниковых методов в процессе строительства [Текст] / И. А. Яндров // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –2007. –№ 5. – С. 36–43.

157 Яндров, И.А. Некоторые аспекты применения координатного метода разбивочных работ в строительстве // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 5. – С. 41 – 47.

158 Acar, M. Deformation analysis with total least squares [Text] / M. Acar and others // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., № 6. – 2006. – PP. 663-669.

159 Alba, M. Measurement of dam deformations by terrestrial interferometric techniques [Электронный ресурс] / M. Alba, L. Fregonese, and others // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing. – 2008. – PP. 133-139. – Режим доступа: http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/23.pdf

160 AutoCAD .NET Developer's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.autodesk.com/ACD/2010/ENU/AutoCAD%20.NET%20Developer%27s%20Guide/index.html> – Загл. с экрана.

161 AutoCAD Полный обзор новых возможностей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/products/autocad/overview> – Загл. с экрана.

162 Behr, J. A. Monitoring structural deformation at Pacoima dam, California, using continuous GPS [Text] / J. A. Behr, K. Hudnut, N. King // Proc. of ION-GPS98. - September 15-18. - Nashville TN, USA, 1998. - PP. 59-68.

163 Dunicliff, J. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance [Text] / J. Dunicliff // 1st Edition, John Wiley & Sons. – New York, 1994. – 608 pp.

164 Eichhorn, A. Analysis of Thermal Deformations of an Arched Theatre Ceiling [Электронный ресурс] / A. Eichhorn, J. Fabiankowitsch and others // FIG Working Week 2007 Hong Kong, China, May 13-17, 2007. – Режим доступа: http://www.fig.net/pub/fig2007/papers/ts_1f/ts01f_01_eichhorn_etal_1279.pdf

165 Fröhlich, C. Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3d surveying [Text] / C. Fröhlich, M. Mettenleiter // International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVI– 8/W2, 2005. – PP.7-13.

166 Gassner, G. Investigations of digital levels at the SLAC vertical comparator [Электронный ресурс] / IWAA2004, Geneva, 2004. – Режим доступа: http://iwaa2004.web.cern.ch/IWAA2004/subsite/PDF/20041007_TS11-2_Georg-Gassner.pdf

167 Gordon, S. Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners [Text] / 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 pp.

168 Henriques, M. J. Monitoring vertical displacements by means of geometric levelling [Text] / M. J. Henriques, J. Casaca // Historical Constructions, P.B. Lourenço, P. Roca, Guimarães, 2001. – PP. 403-412.

169 Kadir, A. Preliminary analysis of precise levelling network for the southern peninsular Malaysia [Электронный ресурс] / A. Kadir, Samad Abu, S. Ses. – 1997. – Режим доступа: http://eprints.utm.my/4855/1/preliminary_analysis.pdf. 20.

170 Luccio, M. The Concrete and the Clay: Monitoring Large-Structure Deformation [Text] / M. Luccio // GPS World. – 2002. – Vol. 13, No. 8. – PP. 16–19.

171 Lutes, J. A. Automated dam displacement monitoring using a robotic total station [Text] / James A. Lutes // M.Sc. Thesis - Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Canada, 2002.- 141 pp.

172 Roberts, G. deformation monitoring trials using a leica HDS3000 [Text] / G. Roberts, M. Baddley // FIG Working Week 2007. - Hong Kong SAR. - China, 13-17 May 2007. – 15 pp.

173 Woschitz H., 2003. System Calibration of Digital Levels: Calibration Facility, Procedures and Results [Text]. – Graz, 2003.

174 Woschitz, H., Gassner, G., Ruland, R. SLAC Vertical Comparator for the Calibration of Digital Levels [Text] // J. Surv. Eng. – 2007, 133(3). – PP. 144 – 150.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

ДОПУСКАЕМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ

ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА

А.1 Допускаемые отклонения при возведении конструкций фундамента турбоагрегата согласно требованиям не должны превышать следующих величин (мм):

а) смещение относительно разбивочных осей (продольная ось турбоагрегата и поперечная ось генератора):

– отклонение верха нижней плиты.....	± 10
– смещение выпусков арматуры из нижней плиты:	
– относительно разбивочных осей	± 5
– относительно верха плиты.....	± 30
– колонн в нижнем сечении	± 10
– балок верхнего строения.....	± 10
– анкерных колодцев по положению.....	± 5
– отклонение осей колонн от вертикали в верхнем сечении.....	± 10
– отклонение привязок и размеров закладных деталей.....	± 5

б) отклонение отметок:

– закладных деталей.....	± 5
– верха балок.....	± 10
– анкерных колодцев от вертикали на всю длину.....	± 2
– размеров проёмов.....	± 10
– отклонение в толщине защитного слоя.....	± 5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ
ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0

Б.1 Процесс создания 3D модель деформации фундаментной плиты следующий. На фундаментной плите ПГУ-1 расположены 18 осадочных марок, каждая из которых имеет свои пространственные координаты (X, Y, Z). Сначала необходимо присвоить каждой осадочной марке свои координаты (рисунок Б.1, а).

Марка	X	Y	Z
ПГУ-1-1	1820.582	741.900	32621.80
ПГУ-1-1а	1820.582	750.900	32621.00
ПГУ-1-2	1824.782	741.900	32623.00
ПГУ-1-2а	1824.782	750.900	32623.60
ПГУ-1-3	1830.882	741.900	32623.40
ПГУ-1-3а	1830.882	750.900	32622.70
ПГУ-1-4	1834.882	741.900	32623.50
ПГУ-1-4а	1834.882	750.900	32624.30
ПГУ-1-5	1840.682	741.900	32625.30
ПГУ-1-5а	1840.682	750.900	32625.00
ПГУ-1-6	1847.182	742.400	32619.40
ПГУ-1-6а	1847.182	750.400	32619.80
ПГУ-1-7	1854.682	742.400	32621.80
ПГУ-1-7а	1855.682	750.400	32623.50
ПГУ-1-8	1862.182	742.400	32621.70
ПГУ-1-8а	1862.182	750.400	32628.40
ПГУ-1-9	1868.682	742.400	32614.60
ПГУ-1-9а	1868.682	750.400	32615.70

а)

ПГУ-1-1	1820.582	741.900	32621.80
ПГУ-1-1а	1820.582	750.900	32621.20
ПГУ-1-2	1824.782	741.900	32622.60
ПГУ-1-2а	1824.782	750.900	32623.20
ПГУ-1-3	1830.882	741.900	32621.90
ПГУ-1-3а	1830.882	750.900	32621.30
ПГУ-1-4	1834.882	741.900	32621.50
ПГУ-1-4а	1834.882	750.900	32622.40
ПГУ-1-5	1840.682	741.900	32622.20
ПГУ-1-5а	1840.682	750.900	32622.40
ПГУ-1-6	1847.182	742.400	32616.70
ПГУ-1-6а	1847.182	750.400	32617.20
ПГУ-1-7	1854.682	742.400	32618.80
ПГУ-1-7а	1855.682	750.400	32618.80
ПГУ-1-8	1862.182	742.400	32620.00
ПГУ-1-8а	1862.182	750.400	32623.50
ПГУ-1-9	1868.682	742.400	32609.80
ПГУ-1-9а	1868.682	750.400	32610.60

б)

где ПГУ-1-1 – название осадочной марки;

1820.582 – X координаты;

741.900 – Y координаты;

32621.80 Z – высота

Рисунок Б.1 – Каталог марок ПГУ-1;

Данные выписываются из проекта в текстовый документ с разрешением .txt. в строчку через запятую. Высота каждой осадочной марки определяется из цикла высокоточного нивелирования с периодичностью указанной в ППГР. При строительстве НГРЭС циклы выполнялись с периодичностью один раз в месяц. После проведения очередного цикла нивелирования в текстовый документ добавляются новые данные полученного цикла (Z – высота) (рисунок Б.1, б).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ
ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0

Б.2 Далее открывается программа surfer 8.0, в меню **file** выбирается – **new plot** или нажимаем клавиши **Ctrl+N**. (рисунок Б.2).

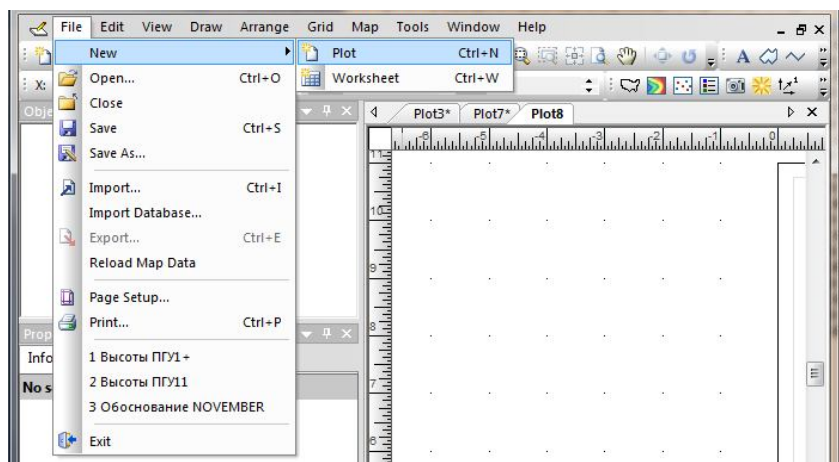


Рисунок Б.2 – Меню программы surfer

Б.3 Появляется новый файл, затем в меню **Grid** выбираем **Data...** (рисунок Б.3)

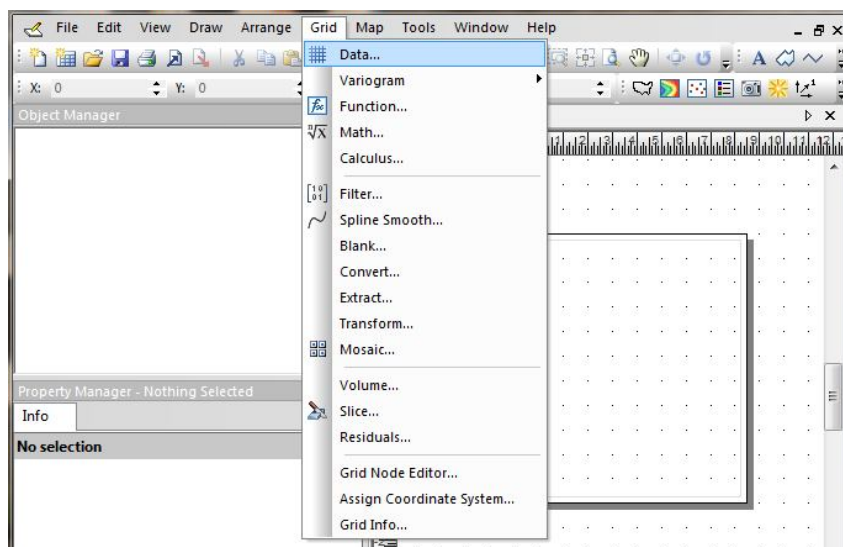


Рисунок Б.3 – Меню Grid программы surfer

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0

Б.4 Появляется контекстное меню **Open Data** (рисунок Б.4), в котором задается путь к текстовому файлу с высотами осадочных марок.

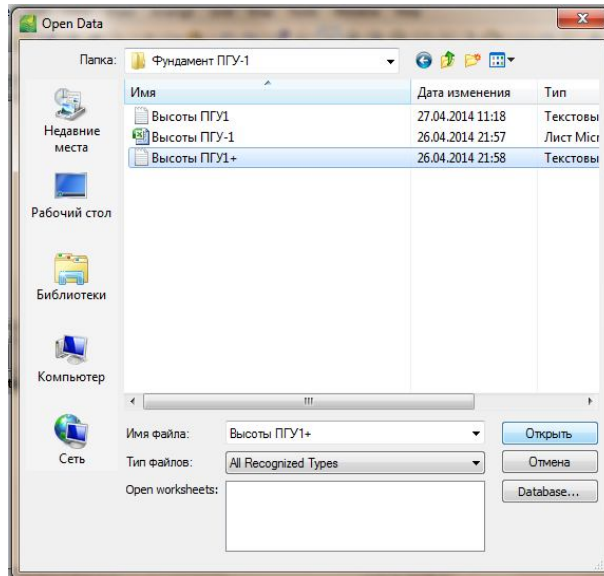


Рисунок Б.4 – Меню Open Data программы surfer

Б.5 После выбора текстового файла появляется меню **Data Import Options**, в котором ставим «галочки», как на рисунок Б.5, нажимаем **ОК**

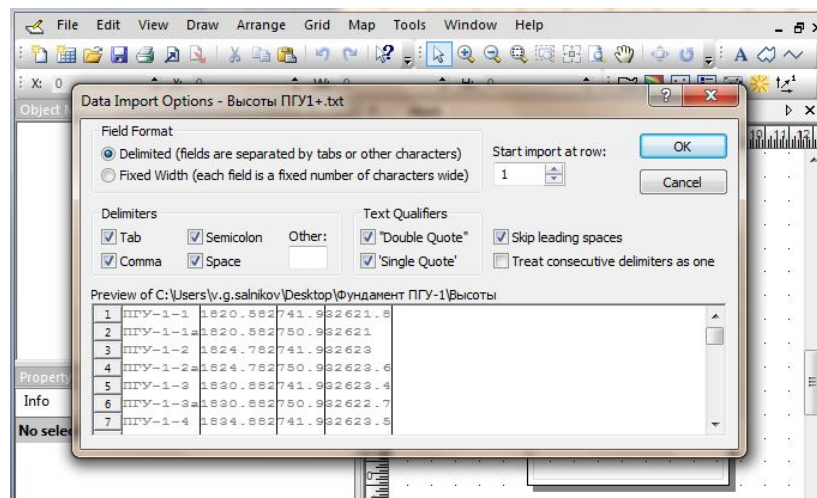


Рисунок Б.5 – Меню Data Import Options программы surfer

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ
ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0

Б.6 После этого в меню **Grid Data** выбираем значение X – координат, которые соответствуют столбцу B; Y – координат соответствуют столбцу C; Z – высот соответствуют столбцу D; нажимаем ОК (рисунок Б.6).

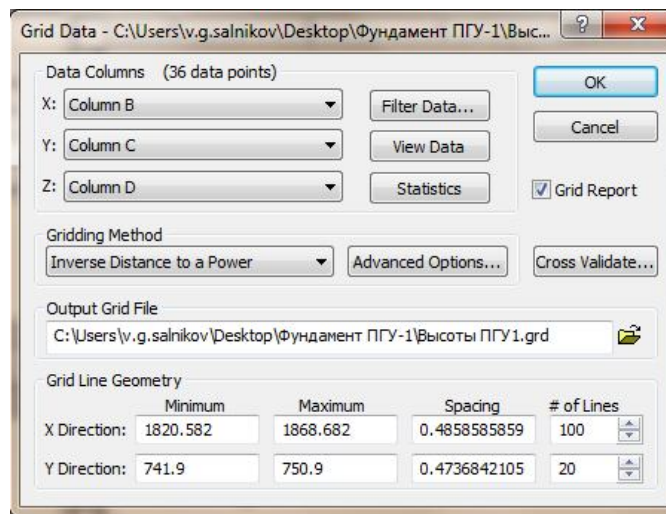


Рисунок Б.6 – Меню Grid Data программы surfer

Б.7 По завершению программа выдает результат преобразование текстового файла в файл с разрешением grd. Ему присваивается тоже название, что и текстовому файлу.

В меню **Map** выбираем **New 3D Wireframe** (рисунок Б.7).

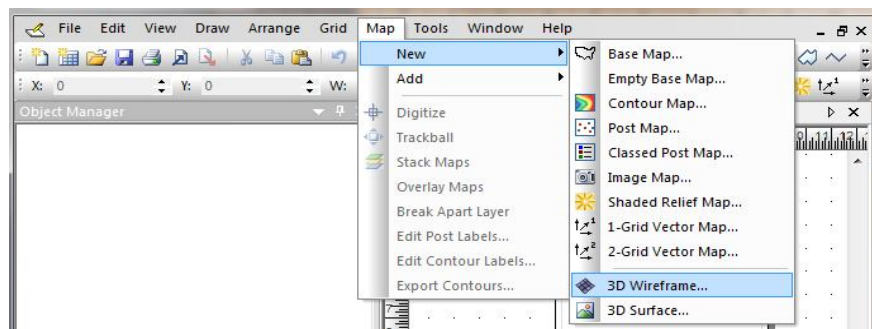


Рисунок Б.7 – Меню Map – New 3D Wireframe программы surfer

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

ПОШАГОВЫЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ
ФУНДАМЕНТА ТУРБОАГРЕГАТА В ПРОГРАММЕ SURFER 8.0

Б.8 Появляется контекстное меню **Open Grid** (рисунок Б.8), в котором задается путь к преобразованному файлу с разрешением .grd нажимается **Открыть**.

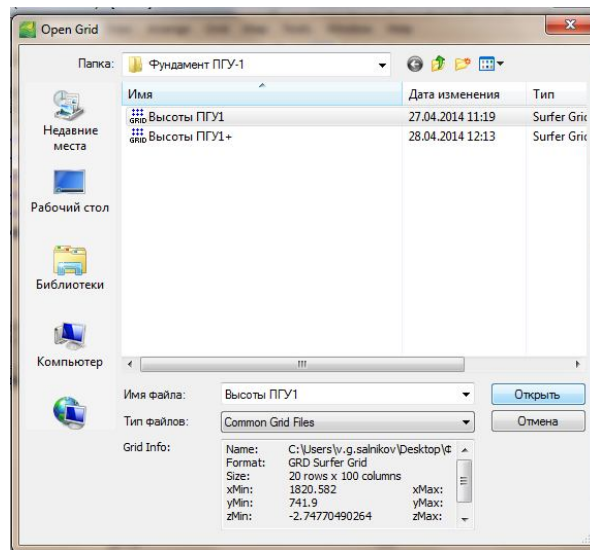


Рисунок Б.8 – Меню Open Grid программы surfer

Б.9 В итоге появляется готовая 3D – модель фундамента турбоагрегата ПГУ-1 (рисунок Б.8).

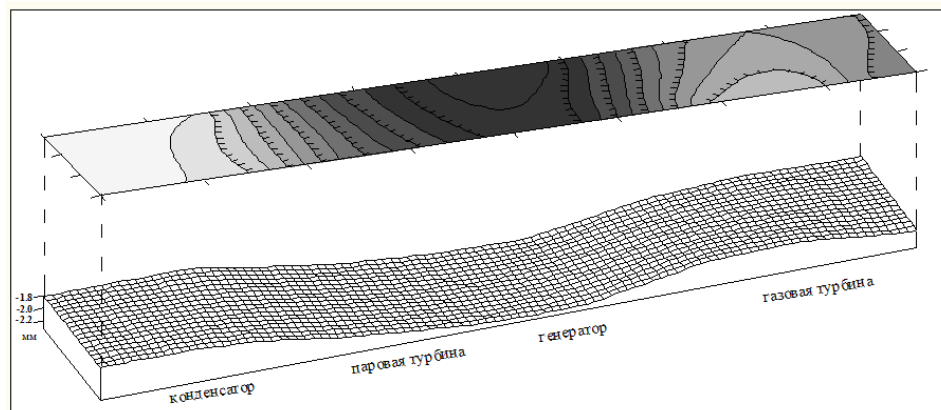


Рисунок Б.9 – 3D модель деформации фундаментной плиты после завершения монтажа турбоагрегата