

*А. В. Никонов<sup>1, 2</sup>*

## **Особенности геодезических наблюдений за осадками фундаментов зданий и сооружений на тепловых электростанциях**

<sup>1</sup> АО «Сибтехэнерго», г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
E-mail: sibte@bk.ru

**Аннотация.** При эксплуатации тепловых электростанций выполняют наблюдения за осадками фундаментов зданий и сооружений. Основным методом для контроля вертикальных перемещений фундаментов является геометрическое нивелирование короткими лучами. В разные годы были опубликованы руководства, методические указания и ГОСТы, в которых содержатся отчасти противоречивые технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования короткими лучами. В статье проводится анализ требований нормативной литературы, дается оценка актуальности технических параметров геометрического нивелирования с учетом применения современных приборов – цифровых нивелиров. Детально рассматривается требование соблюдения равенства расстояний от нивелира до реек. Предлагается при выполнении нивелирования I класса точности увеличить допуск на неравенство плеч на станции с 0,2–0,5 м до 2 м.

**Ключевые слова:** высокоточный нивелир, цифровой нивелир, нивелирный ход, точность, неравенство плеч

*A. V. Nikonov<sup>1, 2</sup>*

## **Features of geodetic observations of foundations settlement of buildings and structures at power plants**

<sup>1</sup>Sibtechenergo, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
E-mail: sibte@bk.ru

**Abstract.** During the operation of power plants, observations of settlements of the foundations of buildings and structures are carried out. The main method for controlling vertical movements of foundations is geometric leveling with short sighting beams. Over the years, manuals and standards have been published, which contain somewhat contradictory technical characteristics and limits for geometric leveling with short sighting beams. The article analyzes the requirements of regulatory literature and assesses the relevance of the technical parameters of geometric leveling, taking into account the use of modern devices – digital levels. The requirement to maintain equal distances from the level to the rods is discussed in detail. It is proposed to increase the limit for shoulder inequality at the station from 0,2–0,5 m to 2 m when performing class I accuracy leveling.

**Keywords:** high-precision level, digital level, leveling line, accuracy, inequality of lengths

## *Введение*

В период строительства и эксплуатации тепловых электростанций (ТЭС) выполняются геодезические наблюдения за осадкой фундаментов зданий, сооружений и оборудования. Эти наблюдения ведутся с целью определения абсолютных осадок фундаментов, выявления участков с неравномерными осадками, которые могут оказать негативное влияние на безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, а в отдельных случаях привести к потере их устойчивости, появлению опасных деформаций в строительных конструкциях.

Для измерения осадок фундаментов на несущих конструкциях или в самих фундаментах закладываются осадочные марки, высотное положение которых с установленной периодичностью определяется относительно исходных реперов. Количество исходных реперов на промышленной площадке должно быть не менее трех – иначе невозможно будет контролировать их устойчивость.

Основным методом для контроля вертикальных перемещений фундаментов служит высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами. В последние годы при контроле осадок успешно применяется тригонометрическое нивелирование с применением электронных тахеометров [1–7].

В советское время методика геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками фундаментов гражданских и промышленных зданий описывалась в указаниях и руководствах [8–10], в фундаментальной монографии П. И. Брайта [11], а также в ГОСТ [12]. Первоначально, нивелирование по точности делилось на три разряда [8]. По-видимому, термин «разряд» был применен, чтобы избежать путаницы с государственным нивелированием I, II, III и IV классов, выполняемого по инструкции [13]. Аналогичное разделение нивелирования на разряды традиционно принято при наблюдениях за деформациями гидротехнических сооружений [14]. Тем не менее, в дальнейшем геометрическое нивелирование, выполняемое в целях наблюдения за осадками фундаментов зданий и сооружений, стало подразделяться по точности на три класса [9, 10]. В 1981 г. был утвержден и введен действие ГОСТ 24846 [12], в котором геометрическое нивелирование уже подразделяется по точности на четыре класса. Заметим, что методика выполнения государственного нивелирования I, II, III и IV классов [13] принципиально отличается от методики нивелирования соответствующих классов, выполняемого по ГОСТ [12].

Некоторые геодезисты, только начинающие заниматься наблюдениями за осадками зданий и сооружений и незнакомые с особенностями геометрического нивелирования короткими лучами, ошибочно прокладывают на промплощадке ходы нивелирования I класса по двум парам костылей и рассчитывают допустимые невязки через длину нивелирного хода  $L$ , выраженную в километрах.

Данная путаница нередко возникает из-за того, что заказчик работ в техническом задании указывает в качестве основного нормативного документа именно инструкцию [15], а не ГОСТ [16]. Встречаются случаи, когда в техническом задании приводятся сразу два противоречащих друг другу документа – и инструкция [15], и ГОСТ [16].

Следует отметить, что выполнение наблюдений за осадками на территории ТЭС имеет ряд характерных особенностей, поэтому исторически этот вид работ выполняется в соответствии с отраслевыми нормами. В настоящее время в энергетической отрасли используются методические указания [17].

### *Анализ нормативной литературы*

Рассмотрим различия технических характеристик и допусков геометрического нивелирования I класса при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений (табл. 1).

*Таблица 1*

Сравнение требований нормативных документов к выполнению геометрического нивелирования I класса (разряда)

Условия геометрического нивелирования	Техническая характеристика или допуск для нивелирования I класса (разряда) при работе по нормативному документу			
	указания [8]	руководство [9]	руководство [10]	ГОСТ [12]
Предельная длина визирного луча, м	25	25	25	25
Высота над препятствием, м, не менее	–	0,80	0,80	1,00
Неравенство плеч на станции, м, не более	–	0,25	0,40	0,20
Накопление неравенства плеч, м, не более	–	1,00	2,00	1,00
Число горизонтов	2	2	2	2
Число направлений	–	2	2	2*
Допускаемая невязка, мм	$0,3\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$
* – в прямом и обратном направлении или замкнутый ход				

Как видно из таблицы 1, с 1955 по 1981 г. технические допуски при выполнении нивелирования I класса постоянно менялись. Неизменной оставалась предельная длина визирного луча и предписание измерять превышения в два горизонта. Указания [8] и руководства [9, 10] являлись пособием по организации и проведению наблюдений за деформациями оснований и фундаментов, в то время как ГОСТ [12] был обязательным к исполнению государственным стандартом.

В настоящее время наблюдения за вертикальными и горизонтальными перемещениями зданий и сооружений регламентируется ГОСТ 24846-2019 [16], а в энергетической отрасли при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений руководствуются методическими указаниями [17]. Сравним требования этих двух нормативных документов (табл. 2).

## Сравнение требований действующих нормативных документов к выполнению высокоточного геометрического нивелирования

Условия геометрического нивелирования	ГОСТ 24846-2019 [16]		Методические указания [17]
	I класс	II класс	
Предельная длина визирного луча, м	25	25	25
Число станций незамкнутого хода	2	3	2
Высота над препятствием, м не менее	1,0	0,8	–
Неравенство плеч на станции, м, не более	0,2	0,4	0,5
Накопление неравенства плеч, м, не более	1,0	2,0	–
Число горизонтов	2	1	2
Число направлений	2*	1**	–
Допускаемая невязка, мм,	$0,3\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$
* – в прямом и обратном направлении или замкнутый ход ** – замкнутый ход			

Обратим внимание на примечания к табл. 2. Подобное указание, применительно к нивелированию III класса, встречается в монографии [11]: «как правило, нивелирование ведут замкнутыми ходами или в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента». Следовательно, если локально расположенный объект удален на определенное расстояние от репера, для его привязки необходимо проложить ход I класса в прямом и обратном направлениях (рис. 1а). На рис. 1а точки 1–4 являются переходными (башмаки), поэтому в прямом ходе рейка устанавливается в точках 1 и 2, а в обратном ходе – в точках 3 и 4. Ход по осадочным маркам М-1–М-7, установленным в стене здания, является замкнутым, следовательно, нивелирование I класса выполняется в два горизонта, но только в одном направлении.

В указаниях [8] содержится следующее утверждение: «нивелирный ход по маркам начинают с репера и заканчивают на нем же или на другом репере, образуя замкнутый ход». Т.е. под замкнутым ходом понимается не только замкнутый полигон, опирающийся на один репер (рис. 1б), но и ход, опирающийся на два репера (рис. 1в), который в современной терминологии мы бы назвали разомкнутым. Получается, что для привязки удаленных от репера объектов могут прокладываться только вытянутые ходы I класса в двух направлениях, в противном случае нужно создавать систему замкнутых нивелирных полигонов I или II класса точности.

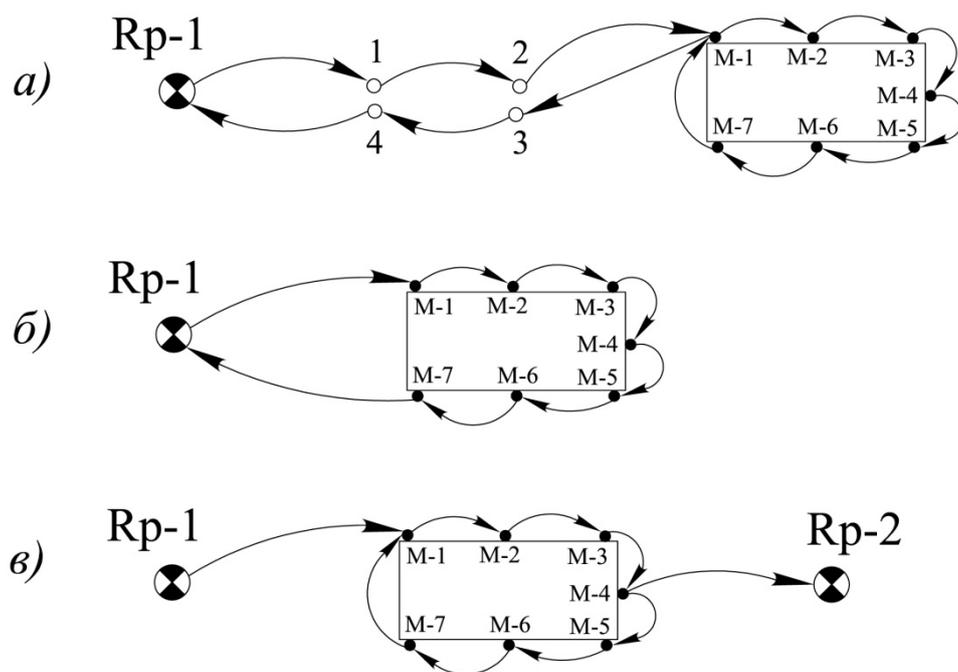


Рис. 1. Схемы геометрического нивелирования I класса

Из анализа данных таблицы 2 следует, что допуски для нивелирования I класса по ГОСТ [16] схожи с допусками высокоточного нивелирования, выполняемого на энергетических объектах по методике [17].

### Обсуждение

Обращает на себя внимание жесткий допуск на неравенство плеч на станции, находящийся в пределах от 0,2 до 0,5 м (табл. 2). При работе в цехе соблюдение этого условия зачастую не возможно из-за наличия препятствий и работающего оборудования. Установка нивелира строго посередине между двумя рейками, призвана устранить или минимизировать:

– влияние угла  $i$ ;

– влияние вертикальной рефракции;

– ошибки из-за влияния перефокусировки зрительной трубы (глубина резкости составляет 10–50 см при длине визирного луча менее 10 м, т.е. при неравенстве плеч в этих пределах нет необходимости менять фокусировку трубы [11]).

Примечательно, что в руководстве [10] указано, что при использовании нивелиров с компенсатором (например, Ni-002) не требуется защищать нивелир от солнечных лучей и нет необходимости измерять расстояния от нивелира до реек. Такая же точка зрения представлена в руководстве [14], где говорится, что нивелир типа Ni-002 можно использовать даже при неравенстве плеч 10–15 м без снижения точности измерений. Следовательно, превалирующим фактором при установлении строгого допуска на равенство плеч является влияние угла  $i$  нивелира.

В нашей стране не выпускались высокоточные нивелиры с компенсатором, поэтому все технические допуски для нивелирования I и II классов принимались

из предположения, что в работах будут использоваться уровенные нивелиры типа НБ, НА-1, а затем и нивелир типа Н-05 с термоизоляционным кожухом.

В устаревших нормативах [13] юстировка угла  $i$  производилась, если он превышал  $20''$ . В настоящее время угол  $i$  нивелиров не допускают более  $10''$  [15, 18]. Рассчитаем ошибку в превышении, обусловленную остаточным влиянием угла  $i=10''$  при неравенстве плеч на станции 0,5 м:

$$\Delta_i = \frac{10'' \cdot 500}{206265''} = 0,025 \text{ мм.}$$

В данном случае ошибка в превышении составит 0,02 мм, что пренебрежимо мало. В этой связи при работе с уровенными нивелирами для уменьшения влияния угла  $i$  выдерживать неравенство плеч на станции менее 0,2–0,4 м трудоемко и практически бессмысленно.

Современные цифровые нивелиры типа Trimble DiNi 0.3 или Leica DNA03, во-первых, как и Ni-002, снабжены компенсатором, а во-вторых, имеют возможность программно учитывать влияние угла  $i$  путем внесения поправок в отсчеты по рейкам. Исследованиями [19] установлено, что угол  $i$  цифрового нивелира изменяется приблизительно на  $0,3''$  при изменении температуры воздуха на  $1^\circ\text{C}$ . Если температура воздуха во время работы отличается от температуры во время поверки на  $10^\circ\text{C}$ , угол  $i$  изменится на  $3,0''$ . Тогда при неравенстве плеч на станции 2 м ошибка в превышении составит 0,03 мм, чем можно пренебречь.

Из исследований стратификации температурного поля одного из типовых турбинных цехов ГРЭС известно, что различие температур в разных точках цеха в один физический момент времени может достигать  $30^\circ\text{C}$  и более [20]. При длинах плеч 10 м ошибка превышения на станции, вызванная непостоянством температуры воздуха, не превысит 0,1 мм при неравенстве плеч 1,5–4 м [20].

Исследованиями [21] установлено, что при длине визирного луча 15 м горячие потоки воздуха могут исказить отсчет по рейке на величину 0,15–0,20 мм. Следовательно, даже при строгом равенстве расстояний от прибора до реек, превышение будет содержать систематическую ошибку, если тепловые потоки оказывают воздействие при взятии отсчетов только по одной из реек. Поэтому важна не столько строгая установка нивелира посередине между рейками, сколько обеспечение симметричных условий внешней среды при взгляде на заднюю и переднюю рейки. Следует избегать прохождения визирного луча над работающим оборудованием или нагретыми поверхностями (трубопроводами).

Еще один фактор, способный внести ошибку в измеряемое превышение, связан с перефокусировкой зрительной трубы. Исследованиями [22] установлено, что при изменении расстояния от тахеометра до цели с 6 до 9 м место нуля изменяется на  $2\text{--}3''$ , а с 9 до 12 м – на  $0,4''$ . Таким образом, при длине визирного луча от 2 до 10 м следует тщательнее соблюдать равенство расстояний от нивелира до реек (в пределах 0,5–1,0 м), так как на таких расстояниях перефокусировка зрительной трубы оказывает более заметное влияние на положение визир-

ной оси (предполагается, что влияние перефокусировки зрительной трубы на положение визирной оси у современных тахеометров и нивелиров имеет схожий характер). При длине визирного луча от 10 до 25 м допуск на неравенство плеч может быть увеличен до 2–3 м.

### *Заключение*

1. При наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений тепловых электростанций широкое распространение получили цифровые нивелиры. При работе с данными приборами в отсчеты по рейке вводится поправка за угол  $i$ , что позволяет увеличить допуск на неравенство плеч на станции.

2. Предлагается при длине визирного луча от 2 до 10 м использовать допуск на неравенство плеч на станции 0,5–1,0 м, а при длине луча от 10 до 25 м соблюдать равенство плеч в пределах 2–3 м.

3. При измерении превышения при первом горизонте на экране нивелира выводятся расстояния до задней и передней рейки. В случае наличия большого неравенства плеч (более 2–3 м) нивелир по возможности должен быть переставлен для уменьшения неравенства плеч. Если при этом значения превышений, полученных при двух горизонтах, различаются не более, чем на 0,3 мм, то в обработку следует принять среднее из двух значений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.

2. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.

3. Клепиков И. В., Рыльчиков В. В. Априорная оценка точности веерообразного тригонометрического нивелирования коротким лучом // The Scientific Heritage. – 2022. – № 83-1(83). – С. 39–46. DOI 10.24412/9215-0365-2022-83-1-39-46.

4. Никонов А. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Применение высокоточного тригонометрического нивелирования при деформационном мониторинге гидротехнических сооружений // Интерэкспо Гео-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск: сб. материалов в 8 т. Т 1: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – С. 85–92. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-85-92

5. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.

6. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго разрядов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 39–45.

7. Афонин Д. А., Канашин Н. В. Геодезический контроль вертикальных деформаций инженерных сооружений на основе комбинации методов геометрического и тригонометрического нивелирования // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 6–16. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-6-16

8. Указания по наблюдению за осадками фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений. (У 127-55/МС-МСПМХП). – М., 1955. – 27 с.
9. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1967. – 93 с.
10. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975. – 156 с.
11. Брайт П. И. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. – М.: Недра, 1965. – 298 с.
12. ГОСТ 24846-81 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – М., 1981. – 29 с.
13. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов / Сост.: С. Г. Судаков, Т. Ф. Александров, М. А. Багров и др. – М.: Геодезиздат, 1955. – 107 с.
14. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами (П-648). – М.: Энергия, 1980. – 200 с.
15. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)–03-010-03.2004. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
16. ГОСТ 24846-2019 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. – 15 с.
17. 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. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005. – 56 с.
18. ГОСТ 10528–90 Нивелиры. Общие технические условия. М: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 14 с.
19. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 24–33.
20. Федотов Н. С. Повышение точности геометрического нивелирования при наблюдении осадок в цехах ГРЭС // Современный ученый. – 2017. – № 5. – С. 16–19.
21. Никонов А. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Особенности выполнения высокоточного нивелирования при наличии направленных конвекционных потоков воздуха // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. – С. 24–30. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-24-30
22. Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронных тахеометров на место нуля / А. В. Никонов, Н. М. Рябова, А. Д. Смирнов и др. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск: сборник материалов в 8 т. Т. 1: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск: СГУГиТ, 2022. – С. 19–23. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-19-23

© А. В. Никонов, 2024