

# КЛАССНОЕ И РАЗРЯДНОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

## О.Н. Горбунов («Газпром нефть»)

В 1990 г. окончил гидрографический факультет Высшего военно-морского училища им. М.В. Фрунзе (в настоящее время — Военный институт (военно-морской) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия») по специальности «инженер-гидрограф», а в 2012 г. — факультет дистанционного и дополнительного обучения Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института) по специальности «маркшейдерское дело». С 1990 г. проходил службу в частях и подразделениях Гидрографической службы Каспийской флотилии. С 2004 г. работал в ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть». С 2014 г. работает в ПАО «Газпром нефть», в настоящее время — руководитель программ по маркшейдерскому обеспечению ПАО «Газпром нефть».

## А.О. Дроздов («Газпром нефть»)

В 2003 г. окончил горно-геологический факультет Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института) по специальности «инженер-геолог». После окончания института работал в ООО «Лукойл-Коми», с 2008 г. — в ОАО «ТНК-ВР Менеджмент». С 2013 г. работает в ПАО «Газпром нефть», в настоящее время — начальник Управления лицензирования и недропользования ПАО «Газпром нефть».

Каждый специалист, который выполнял работы по наблюдениям за осадками зданий и сооружений, обращал внимание на различные подходы к определению величины допустимой невязки нивелирного хода в разных нормативно-технических актах. Например, в стандарте [1] допустимая невязка для геометрического нивелирования I–IV классов вычисляется в зависимости от количества станций в нивелирном ходе, в Инструкции [2] — в зависимости от длины хода, а Правила [3] допускают равнозначное применение обоих вариантов. При этом ни один нормативно-технический документ не разъясняет практику применения данных подходов к вычислению допустимой невязки для нивелирования I–IV классов.

Для того чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо сделать небольшой экскурс в ис-

торию нашей страны в 1950-е гг. Строительство и эксплуатация крупных ГЭС гравитационного и арочного типа и АЭС требовали выполнения большого объема геодезических измерений для оценки состояния сооружений, определения положений конструкций, проверки соответствия выполняемых работ проектной документации. Специфические условия строительных площадок и промышленных предприятий (загруженность площадки оборудованием, ограниченность видимости, теснота и ограниченность свободного пространства) для выполнения геодезических измерений, повышенные требования к точности определения деформаций способствовали появлению нового метода измерений — разрядного нивелирования. Разрядное нивелирование как новый метод геометрического нивелирования впервые был введен в применение Ру-

ководством [4], в котором было выделено три разряда нивелирования. При этом не может не броситься в глаза существенное отличие разрядного от классного нивелирования при расчете предельного расхождения прямого и обратного хода: для классного нивелирования допустимая разность превышений вычисляется в зависимости от длины хода ( $L$ ), а для разрядного — зависит от количества станций ( $n$ ) в нивелирном ходе. Методика разрядного нивелирования была разработана в МИИГАиК в конце 1950-х гг. и получила название «гидротехническое» нивелирование [5], так как ее широкое применение началось на ГЭС. Появление разрядного нивелирования обусловлено трудностью использования методик нивелирования I и II классов на промышленных предприятиях для наблюдения за осадками эксплуатируемых и строящихся объектов,

так как условия проложения нивелирных ходов и выполнения наблюдений на промышленных предприятиях или строительной площадке существенно отличаются от условий незастроенной территории, территорий городов и населенных пунктов.

Успешное применение метода разрядного нивелирования для измерения осадок ГЭС и АЭС способствовало его распространению в другие нормативно-технические акты [1, 3, 4, 6, 7], регламентирующие наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений, или документы [8–28], содержащие ссылки на стандарт [1] по наблюдению за осадками ос-

нований, фундаментов и строительных конструкций, как в процессе строительства, так и в процессе их эксплуатации, которым установлены требования к разрядному нивелированию. Таким образом, большое количество нормативно-технических актов содержит ссылки на стандарт [1] по выполнению наблюдений за осадками зданий и сооружений в соответствии с нормами разрядного нивелирования, установленных данным документом. Однако при пользовании стандартом [1] происходит путаница, причина которой состоит в том, что в таблице 2 вместо 1–4 разрядов нивелирования перечислены I–IV классы нивелирования

и указаны допуски, соответствующие разрядному нивелированию. Этот факт остался незамеченным разработчиками, и техническая ошибка не была исправлена в обновленных редакциях документа, начиная с 1981 г. Вместе с тем технология разрядного нивелирования в значительной мере отличается от классного нивелирования.

Методика классного нивелирования разработана на принципах учета и компенсации погрешностей, вызываемых возможными изменениями положения за счет просадки и выпучивания геодезических костылей и башмаков, ножек штатива, одностороннего разогрева рейки и прибора. К таким

**Основные технические характеристики классного геометрического нивелирования [2] Таблица 1**

Технические характеристики	Класс нивелирования			
	I	II	III	IV
СКО измерения превышений, мм/км	0,8	2,0	5,0	10,0
Систематическая ошибка, мм/км	0,08	0,20	—	—
Допустимая невязка в полигонах и по линиям, мм	3 мм $\sqrt{L}$	5 мм $\sqrt{L}$	10 мм $\sqrt{L}$	20 мм $\sqrt{L}$
Максимальная длина луча визирования, м	50	75	100	150
Нормальная длина луча визирования, м	—	65	75	100
Неравенство расстояний от нивелира до станции на станции, не более м	0,5	1	2	5
Накопление неравенства расстояний по секции, не более м	1	2	5	10
Допустимое расхождение превышений на станции, до мм	0,1	0,2	1,5	5
Направление нивелирования	Прямое и обратное	Прямое и обратное	Прямое <sup>2</sup>	Прямое
Количество трасс нивелирования	2	1	1	1
Высота луча над подстилающей поверхностью, не менее м	0,8	0,5	0,3	0,2
Периметр нивелирного полигона ГДП, км	40	20	—	—
Количество считываний по рейке, не менее раз <sup>1</sup>	3	3	3	3
Последовательность взятия отсчетов на станции	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗП
Длина всячего хода, не более км	—	—	8 <sup>3</sup>	8 <sup>3</sup>

**Примечания.**

L — периметр полигона или длина линии, км

<sup>1</sup> Для цифровых нивелиров.

<sup>2</sup> Если сеть нивелирования является самостоятельной опорной сетью, то она строится в виде полигона, в котором нивелирные ходы прокладываются в прямом и обратном направлениях.

<sup>3</sup> Для всяческих ходов допустимое расхождение между превышениями в прямом и обратном направлениях не должно превышать допустимой невязки в полигонах и по линиям для установленного класса нивелирования.

компенсирующим мероприятиям относятся прямой и обратный ходы нивелирования, последовательность взятия отсчетов на станции и др. Методика классного нивелирования хорошо приспособлена для ведения геодезических работ на больших территориях, когда реперы расположены на значительном удалении друг от друга и необходимо получить их отметки с наименьшими затратами средств и времени при заданной точности измерений на километр хода. Для ходов большой протяженности методика измерений направлена в значительной мере на уменьшение систематических погрешностей, влияние которых на точность возрастает по мере увеличения длин ходов. В зави-

симости от класса точности создаваемой нивелирной сети применяют нивелир соответствующего класса точности с соблюдением требований, отвечающих различным классам точности геометрического нивелирования (табл. 1).

Разрядное нивелирование предназначено для определения превышений между деформационными марками при наблюдениях за осадками и деформациями зданий и сооружений. Методика разрядного нивелирования отличается от классного нивелирования, как правило, ужесточением допусков. Методика адаптирована к условиям промышленных предприятий и выполняется по обобщенным ходам, т. е. по одной и той же схеме, а места ус-

тановки инструмента и реек заранее закреплены. Полученные при этом результаты в значительной степени свободны от влияния некоторых ошибок классного нивелирования. Разрядное нивелирование выполняется короткими лучами, что позволяет охватить очень широкий диапазон точностей измерений превышений на одну станцию — от 0,08 до 2,5 мм. Во всех разрядах нивелирование выполняют нивелирами и рейками одной точности, что создает удобство и возможность быстрого проведения работ при большом количестве деформационных марок и разной точности измерений превышений в различных разрядах. Основные технические характеристики разрядного ниве-

Основные технические характеристики разрядного геометрического нивелирования [1, 6, 7]

Таблица 2

Технические характеристики	Разряд нивелирования			
	1	2	3	4
Допустимая СКО измерения превышений на станции, до мм	0,08	0,25	0,75	2,5
Допустимая невязка в полигонах и по линиям, мм	0,3 мм $\sqrt{n}$	1,0 мм $\sqrt{n}$	2,0 мм $\sqrt{n}$	5 мм $\sqrt{n}$
Максимальная длина луча визирования, м	25	40	50	100
Неравенство расстояний от нивелира до станции на станции, не более м	0,2	0,4	1	3
Накопление неравенства расстояний в замкнутом ходе, не более м	1	2	5	10
Направление нивелирования	Прямое и обратное	Прямое и обратное	Прямое	Прямое
Высота луча над подстилающей поверхностью, не менее м	1	0,8	0,5	0,3
Количество считываний по рейке, не менее раз <sup>1</sup>	3	3	3	3
Последовательность взятия отсчетов на станции	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗП
Количество станций всячего хода, не более	2	3	5	8
Систематическая ошибка остаточного угла $i$	0,005–0,01	0,01–0,02	0,05–0,1	0,1–0,2
Случайная ошибка влияния рефракции и турбулентности воздуха, мм	0,02–0,03	0,05–0,1	0,2–0,3	0,5–0,7
Суммарная СКО <sup>2</sup> на станции, мм	0,15	0,25	0,50	1,0

**Примечания.**

n — количество станций в нивелирном ходе.

<sup>1</sup> Для цифровых нивелиров.

<sup>2</sup> Суммарная СКО на станции учитывает влияние систематической ошибки остаточного угла  $i$ , случайной ошибки влияния рефракции и турбулентности воздуха и ошибки измерения.

лирования для определения контролируемого параметра «осадка» («абсолютная осадка») зданий и сооружений и/или фундаментов указаны в табл. 2.

При наблюдениях за осадками земляных сооружений, основаниями зданий и сооружений и в ряде других случаев, где не требуется высокая точность, рекомендуется применение точностей классного нивелирования III и IV классов (табл. 1).

Для контроля деформаций конструктивных элементов и взаимосвязанных конструкций зданий и сооружений, а также оборудования применяется специальное разрядное нивелирование (табл. 3).

Особенности разрядного нивелирования:

- проведение нивелирования по запроектированным направлениям: разбивка трассы нивелирования на нивелирные плечи с соблюдением допустимого неравенства расстояний от места установки нивелира до реек для установленного разряда нивелирования и закрепление постоянными связующими точками;

- применение измерительной системы «цифровой нивели-

- лир — штрихкодированные инварные рейки» для измерения превышений;

- цифровые нивелиры применяются с оптическими центрами для точной установки и центрирования нивелиров на связующих точках;

- настройка в цифровом нивелире многократных повторных измерений (не менее трех раз) в системе автоматического считывания превышения на станции;

- проверка угла  $i$  перед каждым циклом нивелирования и введение поправок в программное обеспечение цифрового нивелира позволяет практически полностью компенсировать влияние фактора наличия постоянной составляющей угла  $i$ ;

- из-за близкого расстояния между нивелируемыми точками применяют короткие плечи, что существенно уменьшает такие источники погрешностей как погрешности визирования и горизонтирования визирного луча;

- из-за коротких плеч уменьшаются погрешности влияния рефракции и конвекции воздуха на результаты измерения превышений;

- более точное соблюдение равенства плеч на станции уменьшает погрешности за угол  $i$  и перефокусировку зрительной трубы (например, накопление неравенства плеч в секции, равное 1,0 м, приведет к появлению ошибки, равной 0,004–0,006 мм);

- программное обеспечение цифровых нивелиров исправляет угол  $i$  и автоматически вводит поправки за неравенство плеч в измеряемое превышение (например, неравенство плеч на станции в 0,5 м приведет к ошибке в 0,002–0,003 мм);

- проведение веерообразного нивелирования с нивелирной станции на деформационные марки, находящиеся в поле видимости с данной станции, визирными лучами длиной от 5 до 20 м;

- нивелирные ходы прокладывают по твердым точкам и на жестком основании, что уменьшает погрешности за просадки штатива и костылей;

- применение виброгасителей при работах в условиях вибрации основания от действующего оборудования;

- применение подсветок реек при работах внутри затемненных помещений для исклю-

Основные технические характеристики специального разрядного нивелирования [6, 7] Таблица 3

Технические характеристики	Разряд нивелирования			
	1	2	3	4
Допустимое расхождение превышений на станции, до мм	0,05	0,10	0,25	0,50
Максимальная длина луча визирования, м	10	20	35	50
Нормальная длина луча визирования, м	5–7	10–15	15–25	25–35
Неравенство расстояний от нивелира до станции на станции, не более м	0,05	0,10	0,20	0,30
Направление нивелирования	Прямое и обратное	Прямое	Прямое	Прямое
Высота луча над подстилающей поверхностью, не менее м	0,5	0,5	0,5	0,5
Количество считываний по рейке, не менее раз <sup>1</sup>	3	3	3	3
Последовательность взятия отсчетов на станции	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗППЗ	ЗППЗ

**Примечание.**

<sup>1</sup> Для цифровых нивелиров.

чения низкоконтрастного изображения штрихкода;

— использование бленды объектива для избегания излишней освещенности поля зрения сегмента шкалы штрихкодовой рейки и солнечных бликов;

— нивелирование всех рядов выполняют одним и тем же прибором.

Таким образом, проведенный анализ состояния нормативно-технических актов продемонстрировал, что нормативные требования стандарта [1] содержат техническую ошибку, которая влияет на методику геометрического нивелирования при проектировании и выполнении наблюдений за осадками зданий и сооружений, объемы и трудоемкость геодезических работ во многих видах производственной деятельности. Редакция стандарта [1], утвержденная в 2020 г., представляет собой переписанную и сокращенную редакцию 1981 г., которая совершенно не учитывает, что документ разрабатывался под научно-техническую базу 1970–1980-х гг. Целесообразна разработка нового нормативно-технического акта, регламентирующего требования к классному и разрядному нивелированию с учетом современного развития науки и техники.

#### ▼ Список литературы

1. ГОСТ 24846–2019. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений.

2. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов (документ фактически утратил силу с 01.01.2018 г. в связи с принятием Федерального закона от 30.12.2015 г. № 431-ФЗ, признавшего утратившими силу нормативные акты органов государственной власти СССР, РСФСР и Российской Федерации, регулирующие отношения в сфере геодезии и картографии и принятые до дня вступления в силу указанного Федерального закона).

3. Правила осуществления маркшейдерской деятельности (утв. Приказом Ростехнадзора от 19.05.2023 г. № 186).

4. П-648. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами.

5. Карлсон А.А. Измерение деформаций гидротехнических сооружений. — М.: Недра, 1984. — 245 с.

6. СТО 95 12031–2017. Геодезический мониторинг современных движений земной поверхности на локальных геодинамических полигонах атомных станций. Общие требования.

7. СТО СРО-Г 60542954 00007–2020. Геодезический мониторинг. Наблюдения за осадками и кренами зданий и сооружений.

8. МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений.

9. СП 126.13330.2017. Свод правил. Геодезические работы в строительстве. СНиП 3.01.03–84.

10. СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.

11. МДС 13-24.2010. Рекомендации по правилам геотехнического сопровождения высотного строительства и прилегающего пространства.

12. СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.

13. СП 305.1325800.2017. Свод правил. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.

14. СП 412.1325800.2018. Свод правил. Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ.

15. СП 489.1325800.2020. Свод правил. Аэродромы. Геотехнический мониторинг при эксплуатации.

16. СП 493.1325800.2020. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Общие требования.

17. ГОСТ 34823–2022. Межгосударственный стандарт. Магистраль-

ный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Организация и производство строительно-монтажных работ на территории распространения многолетнемерзлых грунтов.

18. ГОСТ 31385–2023. Межгосударственный стандарт. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.

19. ГОСТ 34968–2023. Межгосударственный стандарт. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Инженерные изыскания.

20. ГОСТ 35042–2023. Межгосударственный стандарт. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Здания и сооружения. Правила технической эксплуатации.

21. ГОСТ Р 54523–2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

22. СТО Газпром 2-3.1-524-2010. Организация объектного мониторинга состояния недр при геологическом изучении, создании, эксплуатации, консервации и ликвидации объектов недропользования в ОАО «Газпром».

23. СТО Газпром 2-3.1-468-2010. Порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации в дочерних обществах ОАО «Газпром».

24. ГОСТ 31937–2024. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

25. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения.

26. МРДС 02-08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных.

27. СП 50-101–2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.

28. СП 11-104–97. Система нормативных документов в строительстве. Инженерно-геодезические изыскания для строительства.