

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ НИВЕЛИРОВАНИЯ I КЛАССА

Предлагается системный подход к проведению анализа нивелирования I класса по географическому признаку, с учетом: 1) различия в накоплениях разностей d , связанные с регионом производства работ; 2) различия в накоплениях разностей d , связанные с направлением линии относительно меридиана.

Ключевые слова: точное нивелирование, климатические зоны, разности d .

Точное геометрическое нивелирование один из распространенных видов геодезических работ, целью которого является:

- распространение единой системы высот по территории всей страны;
- сгущение этой системы до необходимого уровня;
- составление и обновление карт современных вертикальных движений земной поверхности (СВДЗП);
- наблюдение за деформациями особо ответственных инженерных сооружений;
- монтаж высокоточного технологического оборудования и решение многих других задач.

Нивелирные ходы I класса в нашей стране прокладывают в две линии — правую и левую как в прямом, так и в обратном направлениях, что дает возможность производить оценку качества по так называемым разностям $d_{1...6}$ [1] вычисляемым по формулам:

$$d_1 = (h_{\text{прав}} - h_{\text{лев}})_{\text{прям.}}$$

из правого и левого нивелирования прямого хода;

$$d_2 = (h_{\text{прав}} - h_{\text{лев}})_{\text{обр.}}$$

из правого и левого нивелирования обратного хода;

$$d_3 = (h_{\text{прям}} - h_{\text{обр}})_{\text{прав.}}$$

из прямого и обратного ходов правого нивелирования;

$$d_4 = (h_{\text{прям}} - h_{\text{обр}})_{\text{лев.}}$$

из прямого и обратного ходов левого нивелирования;

$$d_5 = \frac{1}{2} (h_{\text{прям}} + h_{\text{обр}})_{\text{прав.}} - \frac{1}{2} (h_{\text{прям}} + h_{\text{обр}})_{\text{лев.}}$$

из средних результатов прямых и обратных ходов отдельно для правого и левого нивелирования;

$$d_6 = \frac{1}{2} (h_{\text{прав}} + h_{\text{лев}})_{\text{прям.}} - \frac{1}{2} (h_{\text{прав}} + h_{\text{лев}})_{\text{обр.}}$$

из средних результатов прямого и обратного ходов,

Анализом точного нивелирования (I и II классы) в нашей стране занимался ЦНИИГАиК. Последняя публикация была осуществлена в 1972 г. [2], где проанализированы линии нивелирования I класса за период до 1966 года. Всего за период с 1945 по 1966 годы в трудах ЦНИИГАиКа было проанализировано 42 тыс. км нивелирных ходов I класса. К сожалению обобщенного анализа, по точному нивелированию в нашей стране с этого периода не производилось.

Анализом точного нивелирования (I и II классы) в нашей стране занимался ЦНИИГАиК. Последняя публикация этого НИИ, посвященная анализу точного нивелирования, увидела свет в 1972 году [2] и была посвящена анализу линии нивелирования I класса за период до 1966 года. Всего за период с 1945 по 1966 годы в трудах ЦНИИГАиКа было проанализировано 42 тыс. км нивелирных ходов I класса. К сожалению, в последующие годы обобщенный анализ точного нивелирования не проводился, за исключением работы В.М. Сигалова [3], посвященной анализу нивелирования I и II классов по территории Казахстана общей протяженностью линий 5100 км.

Автор представленной работы на протяжении многих лет занимался анализом результатов нивелирования I класса как на территории России, так и сопредельных стран, в том числе бывших республик СССР. Были изучены и проанализированные данные по линиям, протяженностью более 200 тыс. км. Информация была представлена аэрогеодезическими предприятиями (АГП), инспекциями геонадзора Хабаровска, Читы, Улан-Удэ, Иркутска, Красноярска, Новосибирска, Екатеринбурга, Москвы и С.-Петербурга, а также из Центрального картографического фонда (ЦГКФ).

Результаты анализа обобщенных (обобщенного анализа) накоплений разностей d по различ-

Таблица 1

Накопление разностей d в нивелирных ходах I класса по периодам

Период	Годы	Общая длина хода L , км	Накопления разностей, мм					
			d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6
I	1945-1949	10752	-1220,8	-790,1	-2203,4	-374,0	-217,4	-1284,5
II	1950-1959	16523	-100,1	-536,1	-1865,0	-1265,4	+222,5	-1564,1
III	1960-1970	23638	-637,4	-513,6	-1280,9	-125,7	-55,2	-700,7
IV	1970-1980	54345	-2019,0	-1907,0	-2527,8	+1374,1	-57,2	-588,5
V	1980-1990	79876	-1953,0	-2420,9	-2107,8	+2264,2	+233,6	+85,8
VI	1990-2003	44424	-658,9	-1044,8	-716,6	+1018,0	+191,6	+140,2
VII	2000-2006	8413	-405,6	-426,3	-374,2	+427,0	+9,8	+28,3
	Σ	237971	-6994,8	-7638,8	-11075,7	+3318,2	+327,7	-3883,5

ным периодам производства работ представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, имеет место значительное преобладание накопления отрицательных разностей d , особенно значительных в период 1945-1950 г.г., когда наблюдения выполнялись по «старой программе» [4]. ЦНИИГАиК и отдельные исследователи [5-8] делали попытки объяснить это явление преобладанием систематического влияния кого-либо из источников погрешностей, например, изменением положения визирной оси (угла i), выпиранием или оседанием штатива или костылей, грунтовыми условиями прохождения трассы, подбором исполнителей и другими.

Так, В.И. Синягина [7] установила связь между характером накоплений разностей d и исполнителями, поделив их на три группы. Она пришла к выводу, что на участках, где нивелирование выполняли исполнители первой группы, основное влияние на результат оказывало выпирание штатива, второй — оседание штатива, третьей — выпирание костылей.

На эту связь также обращает внимание И.И. Энтин [8]. Анализируя линию Астрахань-Гурьев-Кандагач (1954-1955 гг.) он пишет: «На участках 2 и 5, где работал один и тот же исполнитель (Каменский), основным источником систематических накоплений было выпирание правых костылей при проложении обратного хода». Исследуя результаты по линии Арысь-Новосибирск (1955-1956 г.г.) И.И.Энтин констатирует: «...на участках 4, 5 и 8 некоторые разности d оказались чрезмерно большими. Судя по знакам и величине разностей, на участке 4 имело место небольшое перемещение костылей при проложении правого нивелирования и значительное выпирание костылей в прямом и обратном ходах левого нивелирования».

Анализируя линию Куйбышев-Киров, занивелированную в 1957-1959 г. г. исполнителем Алексеевым, И.Н. Мещерский и И.И. Энтин отмечают на стр. 7 [2], что на фоне общих значительных отрицательных разностей d : «Большинство разностей d_3 , d_4 и d_6 положительные, причем разности d_4 больше разностей d_3 . Это значит, что для данного нивелирования характерно оседание костылей (особенно левого) во время перехода со станции на станцию и выпирание штатива во время работы на станции».

И таких примеров можно привести множество, но при этом логического объяснения, почему превалирующему оседанию или выпиранию только правых или только левых костылей, только в прямом или обратном ходе не приводится.

Безусловно, нельзя утверждать, что не было никаких попыток к системному анализу точного нивелирования. Сотрудники ЦНИИГАиК И.И. Энтин и И.Н. Мещерский в работе [9], анализируя линии нивелирования I класса, проложенные по территории СССР за период с 1945 по 1963 год, разбили их на четыре периода и проанализировали по таким признакам как:

- методика исполнения;
- опытность наблюдателей;
- применяемые инструменты.

Но каких либо общих закономерностей, установить не удалось. Кроме того, при анализе не были приняты во внимание ни климатические различия производства работ, ни направленность линий относительно частот света.

Поскольку цифры, приведённые в табл. 1 трудно воспринимаются визуально, в табл. 2 приведены накопления разностей d на 100 км нивелирного хода по этим же периодам.

Таблица 2
Накопление разностей d на 100 км
в нивелирных ходах I класса

Период	Годы	Накопления разностей, мм					
		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6
I	1945-1949	-11,4	-7,3	-20,5	-3,5	-2,0	-11,9
II	1950-1959	-0,6	-3,2	-11,3	-7,6	+1,3	-9,5
III	1960-1970	-2,7	-2,2	-5,4	-0,5	-0,2	-3,0
IV	1970-1980	-3,7	-3,5	-4,6	+2,5	-0,1	-1,1
V	1980-1990	-2,4	-3,0	-2,6	+2,8	+0,3	+0,1
VI	1990-2003	-1,5	-2,4	-1,6	+2,3	+0,4	+0,3
VII	2000-2006	-4,8	-5,1	-4,4	+5,1	+0,1	+0,3
За все время	1945-2006	-2,9	-3,2	-4,6	+1,4	+0,1	-1,6

В связи с переходом с 1950 года на новую программу наблюдения [10], целью которой было повышение точности наблюдений, накопления разностей и особенно d_5 и d_6 резко уменьшились. Но с конца 1960-х годов в нашей стране развернулись работы по нивелированию I класса на территории Сибири и Дальнего Востока и по многим линиям, особенно северным, проявились значительные положительные накопления разностей d . Это сгладило картину, за счёт компенсации значительных отрицательных накоплений положительными.

Как видно из таблицы 2, начиная, с 2000 года значительно возросли разности $d_1...d_4$. Прежде всего это связано это с недостаточным объемом информации. В распоряжении автора были данные по 8413 км. (см. табл. 1). Недостаток необходимых для анализа статистических данных, следует рассматривать как нарастающий фактор.

С начала 90-х годов прошлого века, как по объективным экономическим причинам, так и ввиду отсутствия должного внимания со стороны правительства резко уменьшились объемы геодезических работ по всем АГП страны. Но при этом значительно усложнилось получение информации из АГП. Кроме того, что отчеты с предприятий поступают в ЦКГФ с большим запозданием, финансовые возможности специалистов, занимающихся анализом, не всегда позволяют получить необходимый объем данных.

Не отрицая значение влияния индивидуальных особенностей нивелирования каждой трассы, которые обусловлены погодными условиями, производства работ, временем наблюдения, характером грунтов, применяемыми приборами, подбором исполнителей и другими, автор, тем не менее,

предлагает использовать при анализе нивелирования I класса системный подход и проводить этот анализ, исходя из географического признака, а именно, учитывать:

I. Различия в накоплениях разностей d , связанные с регионом производства работ.

II. Различия в накоплениях разностей d , связанные с направлением линии относительно меридиана.

Закономерные изменения накоплений разностей d в различных климатических зонах нашей страны рассмотрены в нижеприведенной статье, а исследования по накоплениям d в зависимости от направления линии относительно меридиана опубликованы в работах

[11-13]. В работе [11] были проанализированы линии I класса, по которым мы располагали информацией, общей протяженностью 65 тыс. км. Получены убедительные доказательства существенных различий в накоплениях разностей d в линиях меридионального направления ($EL = 18820$ км.), субширотного ($EL = 29435$ км.) и широтного ($EL = 17098$ км.).

В работе [12] с учетом новой информации (при суммарной протяженности ходов I класса свыше 205 тыс. км. проанализированы накопления d в направлениях: Север, Северо-восток, Восток, Юго-восток, Юг, Юго-запад, Запад и Северо-запад, а также получены существенные различия как по величине, так и по знаку.

В работе [13] установлены закономерные различия в накоплениях разностей d по отдельным регионам России: Европейская часть, Урал-Западная Сибирь, Северный Казахстан, Восточная Сибирь, Забайкалье, Якутия, Северо-Восток, Дальний Восток, Камчатка.

Литература

1. Инструкция по вычислению нивелировок / ГУГК. — М.: Недра. — 1971. — 108 с.
2. Мещерский, И. Н. Анализ результатов нивелирования I и II классов / И. Н. Мещерский, И. И. Энтин // Тр. ин-та / ЦНИИГАиК. — 1972. — Вып. 169. — С. 3 — 26.
3. Сигалов, В. М. К вопросу точности нивелирования I и II классов / В. М. Сигалов // Геодезия и картография. — 1980. — № 1.- С. 13-19.
4. Временное наставление по нивелированию I класса / ГУГК. — М.: Геодезиздат, 1945.
5. Звонов, В. И. О точности нивелирования I класса. / В. И. Звонов // Тр. ин-та / ЦНИИГАиК. — 1952. — Вып. 87.- С. 3 — 40.
6. Энтин, И. И. Высокоточное нивелирование / И. И. Энтин // Тр. ЦНИИГАиК. — 1956. — Вып. 111. — 200 с.
7. Сиягина, В. И. Анализ результатов нивелирования I класса СССР / В. И. Сиягина // Тр. ЦНИИГАиК. — 1957. — Вып. 114. С. 17-52.
8. Энтин, И. И. Анализ результатов нивелирования I и II классов / И. И. Энтин // Тр. ЦНИИГАиК. — 1960. — Вып. 135. — 52 с.
9. Энтин, И. И. О качестве нивелирования I класса СССР. / И. И. Энтин, И. Н. Мещерский // Геодезия и картография. — 1967. — № 9. — С. 12 — 16.
10. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. — М.: ЦНИИГАиК. — 2004. — 226 с.
11. Иванов, В. Г. Разделение линий нивелирования I класса относительно меридиана / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. - 2003. - № 5. - С. 17-20.
12. Иванов, В. Г. Накопление разностей d в нивелирных ходах I класса различной ориентации / В.Г. Иванов // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. - 2006. - Вып. 3. С. 76-79.
13. Иванов, В. Г. Общность и региональные различия в накоплениях разностей d в нивелировании I класса в линиях разного нагревания / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. - 2007. - № 15. - С. 16 - 21.