

УДК 631.6.033

Лиман С. А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, sergejliman@rambler.ru)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ

В данной статье рассмотрены основные технологические факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность геодезических работ, в частности, геометрическое и боковое нивелирование, действующие в условиях производственного процесса на промышленных предприятиях. При непрерывном технологическом процессе на точность геодезических наблюдений влияние оказывают вибрация от работающего оборудования и рефракция от работы различных нагревательных и вентиляционных механизмов. Поскольку в большинстве случаев нет возможности остановить работу оборудования, то вибрация и рефракция значительно увеличивают погрешность получаемых результатов.

В результате проведенных экспериментов были выделены составляющие средней квадратической погрешности за счет влияния вибрации и рефракции, которые составили 5,23 и 3,05 миллиметра соответственно. В статье также даны рекомендации по уменьшению или устранению влияния данных технологических факторов на точность геодезических работ.

Ключевые слова: наблюдения, вибрация, рефракция, погрешность, нивелирование.

Большой опыт геодезических наблюдений по определению геометрических параметров подкрановых путей в цехах металлургических заводов и предприятий ПО «Луганск-железобетон» позволяет выделить ряд технологических факторов, оказывающих влияние на точность геодезических наблюдений, в частности, геометрического нивелирования. Главными факторами являются: вибрация конструкций и, как следствие, геодезических приборов, рефракция (как вертикальная, так и горизонтальная), влияние работающих кранов и оборудования на смежных пролетах, запыленность атмосферы и плохая освещенность в цехах, разность температур в различных частях цеха на пути прохождения оптического луча и т. д.

Вибрация механизмов и оборудования, конвекционные потоки воздуха, вызванные работой отопительных и вентиляционных установок влияют на точность измерений. Особую трудность представляет собой недоступность путей для свободного перемещения по ним персонала. Кроме того, расположение путей на высоте, наличие вблизи рельсов токопроводников создают повышенную опасность работ.

Краны со средним и тяжелым режимами работы не могут быть остановлены в рабочее время, так как они часто связаны с непрерывным технологическим процессом цеха. Поэтому геометрическое нивелирование надземных путей должно выполняться с учетом характера и степени влияния каждого из этих факторов.

Рефракция — это отклонение визирного луча, вызванное неравномерной плотностью воздуха на пути луча в результате неравномерности и перепада температуры. Различают вертикальную и горизонтальную составляющие рефракции. Для геометрического нивелирования важна лишь вертикальная составляющая рефракции, а на боковое нивелирование большее влияние оказывает горизонтальная составляющая.

Коэффициент рефракции зависит от давления, температуры, влажности и градиента температуры воздуха. Изменение давления, температуры и влажности воздуха в течение дня незначительно изменяет величину коэффициента рефракции. Неустойчивость коэффициента зависит главным образом от суточного хода вертикального градиента температуры.

На характер изменения вертикального температурного градиента воздуха решающее влияние оказывают свойства подстилающей поверхности, так как поглощенная ею энергия превращается в тепловую и передается как вглубь деятельного слоя, так и в прилегающие слои атмосферы.

При геометрическом нивелировании, когда визирный луч проходит в прилегающих к земной поверхности слоях воздуха, микроклиматические различия вызывают значительные колебания результатов наблюдений. Воздушные слои стараются прийти в равновесие, вследствие чего возникают быстро колеблющиеся вихревые потоки воздуха, вызывающие дрожание (колебание) наблюдаемого в трубе изображения. Чем больше микроклиматические различия вдоль визирного луча и чем больше по абсолютному значению градиент температуры, тем сильнее колебание изображения. Однако колебания изображения имеют случайный характер и поэтому не могут вызывать ошибки систематического характера еще и потому, что при наблюдениях стараются наводить перекрестие сетки нитей на середину колеблющегося изображения. Микроклиматические различия приземных слоев атмосферы будут вызывать различное влияние рефракции. Из всего вышесказанного следует, что установить для изменения температуры с высотой в приземном слое воздуха какую-либо определенную закономерность невозможно.

Все вышеизложенное относилось к геодезическим наблюдениям на поверхности Земли. В условиях промышленных предприятий, в особенности металлургических заводов и теплоэлектростанций, визирный луч может проходить через слои воздуха с разницей температур в десятки, а иногда и в сотни градусов. Особенно сильно рефракция оказывает влияние на геодезические наблюдения в мартеновском цехе, где один из рельсов наблюдаемого пролета проходит над мартеновскими печами, или в ТЭЦ, где визирный луч проходит над

котлами либо над паропроводами. При этом температура слоев воздуха над рельсовыми путями изменяется настолько сильно, что колебание изображения в зрительной трубе в большинстве случаев не дает возможности взять отсчет по рейке.

За 15 лет систематических геодезических наблюдений на Краматорском металлургическом заводе представилась возможность выделить и определить влияние рефракции на точность геометрического нивелирования в разливочном пролете мартеновского цеха, примыкающего к печному пролету.

Некоторое время мартеновские печи не работали в связи с ремонтом и реконструкцией, некоторые из них поддерживались в нагретом состоянии, причем температура была значительно ниже рабочей. В такой ситуации появилась возможность произвести наблюдения и выделить влияние рефракции на точность геодезических измерений.

Наблюдения производились дважды с двух станций нивелирования. Первая наблюдательная станция находилась на краю южного рельса, примыкающего к печному пролету. Именно этот рельс проходит над мартеновскими печами и поэтому визирный луч, проходя от одного конца рельса до другого на своем пути подвергается значительному влиянию вертикальной рефракции.

Вторая наблюдательная станция находилась в центре северного (удаленного от печного пролета на ширину колеи, равную 18 м) рельса. В данном случае визирный луч, проходя от северного рельса к южному, подвергался влиянию вертикальной рефракции лишь на коротком отрезке в конце своего пути. Все остальные условия наблюдения (запыленность атмосферы, плохая освещенность и вибрация) остались неизменными. Поэтому с большой долей вероятности можно сделать вывод о том, что различие вычисленных отметок головок южного рельса из двух стоянок нивелира вызвано в большей мере именно влиянием рефракции и в некоторой мере различной длиной плеч. Для сравнения от-

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

счеты брались и по северному рельсу, не подверженному влиянию рефракции от мартеновских печей. Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 1.

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta\Delta}{2n}};$$

$$m_c = \pm \sqrt{\frac{98}{48}} = 1,43 \text{ мм};$$

$$m_{ю} = \pm \sqrt{\frac{545}{48}} = 3,37 \text{ мм};$$

$$m_p = \sqrt{m_{ю}^2 - m_c^2} = 3,05 \text{ мм}.$$

Таблица 1

Расчет средней квадратической погрешности геометрического нивелирования за счет влияния рефракции

№ кол.	Северный рельс				Южный рельс			
	$H_1, м$	$H_2, м$	$\Delta, мм$	$\Delta\Delta, мм^2$	$H_1, м$	$H_2, м$	$\Delta, мм$	$\Delta\Delta, мм^2$
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	10,069	10,069	0	0	10,069	10,073	4	16
4	10,070	10,072	2	4	10,069	10,070	1	1
5	10,077	10,074	3	9	10,038	10,043	5	25
6	10,088	10,086	2	4	10,035	10,038	3	9
7	10,045	10,047	2	4	10,045	10,052	7	49
8	10,036	10,038	2	4	10,029	10,033	4	16
9	10,054	10,052	2	4	10,024	10,028	4	16
10	10,046	10,044	2	4	10,018	10,022	4	16
11	10,044	10,043	1	1	10,015	10,022	7	49
12	10,053	10,055	2	4	10,024	10,029	5	25
13	10,044	10,045	1	1	10,009	10,010	1	1
14	10,004	10,005	1	1	10,014	10,017	3	9
15	10,009	10,009	0	0	10,035	10,037	2	4
16	10,023	10,023	0	0	10,035	10,039	4	16
17	10,046	10,049	3	9	10,024	10,029	5	25
18	10,031	10,034	3	9	10,049	10,053	4	16
19	10,034	10,034	0	0	10,051	10,059	8	64
20	10,020	10,022	2	4	10,066	10,067	1	1
21	10,048	10,051	3	9	10,064	10,069	5	25
22	10,035	10,038	3	9	10,075	10,078	3	9
23	10,041	10,040	1	1	10,080	10,082	2	4
24	10,025	10,027	2	4	10,097	10,099	2	4
25	10,030	10,033	3	9	10,091	10,100	9	81
26	10,024	10,029	2	4	10,081	10,089	8	64
27	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-
		$\sum \Delta\Delta$	=	98		$\sum \Delta\Delta$	=	545

Как видим, средняя квадратическая погрешность определения отметок головок северного рельса практически равна погрешности геометрического нивелирования, определенной для шламоотстойника прокатного цеха. Разность погрешностей m_p является составляющей рефракции от влияния мартеновских печей. Причем необходимо понимать, что систематическое влияние рефракции завуалировано случайными погрешностями, хотя изменение влияния случайных погрешностей в двух выполненных измерениях на порядок ниже полученной погрешности за счет влияния рефракции.

Аналогичное влияние вертикальной составляющей рефракции на точность геодезических наблюдений отмечается не только в мартеновском цехе, но и в других цехах и предприятиях с повышенным температурным режимом работы, вызванным технологическими процессами, происходящими на предприятиях, например, в цехах теплоэлектростанций, где рефракция вызвана нагревом воздуха от сжигания топлива в котлах, над различными паропроводами.

На основании вышеизложенных данных можно дать рекомендации по более правильной установке приборов для геодезических наблюдений по определению геометрических параметров подкрановых путей в цехах с высокотемпературным оборудованием и механизмами для повышения точности измерений и совершенствования методики наблюдений с целью ослабления влияния рефракции на точность геодезических работ.

Для ослабления рефракции, которая оказывает наиболее сильное влияние на точность измерений в “горячих” цехах, необходимо производить нивелирование при следующих условиях:

- 1) короткими лучами;
- 2) при соблюдении равенства плеч;
- 3) с пола цеха;
- 4) визирный луч не должен проходить вблизи источников тепла и вентиля-

ционных установок, или следует по возможности сократить зону прохождения луча через пространство с высокой температурной инверсией;

5) в осенний и весенний периоды, когда система отопления не работает;

6) на пути прохождения луча должны быть закрыты все окна, фрамуги.

Если эти условия выполнить невозможно, то нивелирование подкрановых путей рекомендуется проводить методами, не связанными с оптическими измерениями, например гидростатическим нивелированием.

На металлургических заводах, где технологический процесс непрерывен, полностью избежать влияния вибрации невозможно, так как времени плановых остановок (перерывов в работе кранов и другого оборудования) недостаточно для производства геодезических наблюдений за геометрическими параметрами подкрановых путей, к тому же остановки различного оборудования не совпадают по времени и вибрация от соседнего оборудования оказывает аналогичное влияние на точность геометрического нивелирования, хотя и в меньшей мере. Как показал многолетний опыт наблюдений, сказывается вибрация от работы не только обследуемого крана, но и соседних пролетов, а также от работающего вблизи оборудования.

На Краматорском металлургическом заводе в сортопрокатном цехе четыре мостовых крана склада готовой продукции связаны попарно между собой общими рядами колонн, поэтому вибрация от одного работающего крана передается на все пролеты, затрудняя производство натуральных геодезических наблюдений, причем выделить влияние только вибрации на точность геометрического нивелирования весьма сложно. Для этого геодезические измерения производились дважды: непосредственно с обследуемого крана и с независимой наблюдательной площадки на изолированном фундаменте, расположенной

вблизи пролета и свободной от влияния вибрации. При этом вибрация сказывалась только на рейке и вследствие своей малой величины оказывала лишь незначительное влияние на точность наблюдений по сравнению с влиянием вибрации непосредственно на нивелир. Результаты экспериментальных наблюдений, выполненных на эстакаде готовой продукции сортопрокатного цеха, приведены в таблице 2.

$$m_B = \sqrt{\frac{848}{24}} = 5,94 \text{ мм};$$

$$m_3 = \sqrt{\frac{190}{24}} = 2,81 \text{ мм}.$$

Как видим, погрешность геометрического нивелирования по западному рельсу не превышает допустимого значения, а погрешность нивелирования по восточному рельсу, примыкающему к остальным пролетам эстакады готовой продукции (западный рельс находится на краю эстакады) превышает его почти в 2 раза.

Средняя квадратическая погрешность бокового нивелирования, вычисленная по

разностям двойных измерений при одной стоянке теодолита при работающем и отключенном оборудовании, составляет 5,23 мм.

Кроме того, затраты времени на наблюдения (взятие отсчетов) при работающем оборудовании в 3–4 раза больше, чем на взятие отсчетов при остановленных кранах, а в большинстве случаев при работающих кранах вообще выполнить наблюдения не представляется возможным. Поэтому очень важно выбрать место установки нивелира таким образом, чтобы влияние вибрации было минимальным.

Свести к минимуму влияние вибрации на точность геометрического нивелирования можно при производстве наблюдений со специальных наблюдательных станций (площадок), смонтированных на изолированных фундаментах и свободных от влияния какой бы то ни было вибрации от работающего рядом оборудования и механизмов.

Таблица 2

Расчет средней квадратической погрешности геометрического нивелирования за счет влияния вибрации

№ кол.	Восточный рельс				Западный рельс				
	с крана	с набл. площадки	Δ , мм	$\Delta\Delta$, мм ²	с крана	с набл. площадки	Δ , мм	$\Delta\Delta$, мм ²	
1	10,080	10,072	8	64	10,040	10,034	6	36	
2	10,016	10,018	2	4	9,980	9,983	3	9	
3	10,021	10,024	3	9	10,013	10,017	4	16	
4	10,015	10,029	14	196	10,013	10,017	4	16	
5	10,025	10,016	9	81	10,033	10,036	3	9	
6	10,043	10,034	9	81	10,039	10,042	3	9	
7	10,030	10,026	4	16	10,049	10,045	4	16	
8	10,023	10,026	3	9	10,048	10,046	2	4	
9	10,020	10,008	12	144	10,017	10,022	5	25	
10	10,030	10,022	8	64	10,000	10,005	5	25	
11	10,030	10,018	12	144	10,038	10,041	3	9	
12	10,028	10,022	6	36	10,032	10,028	4	16	
$\sum \Delta\Delta = 848$				$\sum \Delta\Delta = 190$					

Библиографический список

1. Методические указания проведения обследования кранов с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации [Текст]. — М. : ВНИИПТМАШ, 1991. — 132 с.
2. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями технологических сооружений и их оснований геодезическими методами [Текст]. — М. : Энергия, 1980. — 200 с.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [Текст]. — М. : Металлургия, 1984. — 172 с.
4. Ларченко, В. Г. Результаты многолетних геодезических наблюдений за осадками и деформациями эстакад мостовых кранов [Текст] / В. Г. Ларченко, С. А. Лиман // Сборник научных трудов. — Алчевск : ДГМИ, 2001. — Вып. 13. — С. 249–254.

© Лиман С. А.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., гл. маркшейдером ш. «им. XIX съезда КПСС» ГУП ЛНР «Центруголь» Кияненко Н. А.

Статья поступила в редакцию 17.02.17.

Ліман С. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, sergejliman@rambler.ru)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ НІВЕЛЮВАННЯ

У даній статті розглянуті основні технологічні фактори, що найбільш впливають на точність геодезичних робіт, зокрема, геометричне та бокове нівелювання, що діють в умовах виробничого процесу на промислових підприємствах. При безупинному технологічному процесі на точність геодезичних спостережень впливають вібрація від працюючого устаткування та рефракція від роботи різноманітних нагрівальних та вентиляційних механізмів. Оскільки у більшості випадків немає можливості призупинити роботу устаткування, то вібрація та рефракція значною мірою збільшують похибку одержаних результатів.

У результаті проведених експериментів були виділені складові середньої квадратичної погрешності за рахунок впливу вібрації та рефракції, що склали 5,23 та 3,05 міліметри відповідно. У статті також надано рекомендації із зменшення або з усунення впливу цих технологічних факторів на точність геодезичних робіт.

Ключові слова: спостереження, вібрація, рефракція, помилка, нівелювання.

Liman S. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR, sergejliman@rambler.ru)

ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF PROCESSING FACTORS ON ACCURACY OF THE LEVELING

The paper deals with the main processing factors greatly influencing the accuracy of land surveying, particularly geometric and side leveling occurred in a production conditions at industrial enterprises. At continuous technological process the equipment vibration and refraction from operating heating and venting mechanisms influence the accuracy of geodesic observations. In most cases as there is no reasons discontinue operation process, the vibration and refraction significantly increase the error of obtained results.

As a result of experiments there have been found out components of root-mean-square error due to the influence of vibration and refraction 5,23 and 3,05mm respectively. The paper also gives recommendations on reducing or eliminating the influence of these processing factors on the accuracy of land surveying.

Key words: observations, vibration, refraction, error, leveling.