

Решая (4), получаем коэффициенты k, n, p .

Из табл. 2 видно, что для светодоальномера СТ-3 есть два уравнения вида (3). Поэтому коэффициент при неизвестном k в первом уравнении системы (4) будет равен 2, а не 4, как для остальных типов светодоальномеров.

Таким образом, по изложенной методике найдены эмпирические формулы, устанавливающие зависимости между точностью и стоимостными показателями при трилатерационных измерениях различными светодоальномерами:

$$\text{Светодоальномер «Кристалл» } C = -39,89 + 3,26 m_s - 0,0561 m_s^2 \quad (5)$$

$$\text{Светодоальномер КДГ-3 } C = -27,90 + 3,01 m_s - 0,0640 m_s^2 \quad (6)$$

$$\text{Светодоальномер СТ-65 } C = -61,58 + 6,82 m_s - 0,1687 m_s^2 \quad (7)$$

$$\text{Светодоальномер «Блеск» 3 СМ-2 } C = -12,46 + 2,08 m_s - 0,0539 m_s^2 \quad (8)$$

$$\text{Светодоальномер «Кварц» } C = -113,69 + 19,18 m_s - 0,7604 m_s^2 \quad (9)$$

$$\text{Светодоальномер СД-6 } C = -3,64 + 1,59 m_s - 0,0566 m_s^2 \quad (10)$$

$$\text{Светодоальномер «Гранат» } C = -20,40 + 6,60 m_s - 0,3914 m_s^2 \quad (11)$$

$$\text{Светодоальномер СТ-3 } C = -0,63 + 0,85 m_s + 0,1092 m_s^2 \quad (12)$$

Проверка полученных формул (2) — (10) показала, что их погрешности в среднем составляют 1,5%.

Выведенные формулы можно использовать при проектировании трилатерационных сетей. Они позволяют при заданной точности светодоальномерных измерений определить стоимость работ, выбрать необходимый тип светодоальномера, составить проект измерений, близкий к оптимальному.

Список литературы: 1. *Болышкова В. Д., Левчук Г. П., Баграшвили Г. В.* и др. Справочник геодезиста. — Кн. 1. — М.: Недра, 1975. — 527 с. 2. *Ганшин В. Н., Косыков Б. И., Хрунов Л. С.* Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. — М.: Недра, 1977. — 248 с. 3. Единые нормы времени и расценки на изыскательские работы. — Ч. 1. — М.: Стройиздат, 1980. — 343 с. 4. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы. Полевые работы. — М.: Недра, 1982. — 231 с. 5. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. — М.: Недра, 1976. — 103 с. 6. *Косыков Б. И.* Справочное руководство по съемке городов. — М.: Недра, 1974, с. 408. 7. *Спирidonov А. И., Кулашин Ю. Н., Крюков Г. Е.* Справочник-каталог геодезических приборов. — М.: Недра, 1984. — 238 с.

Статья поступила в редакцию 12.02.85

УДК 528.32+666.94.041

С. Г. ХРОПОТ, Т. Г. ШЕВЧЕНКО

О ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТАНОВКИ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Непрямолинейность геометрической оси корпуса вращающейся печи оказывает существенное влияние на долговечность и надежность агрегата. Отклонения оси от прямолинейности, превышающие

допустимые пределы (± 3 мм на опорах), считаются причиной периодически трети всех аварий и неполадок простого вращающейся печи. В связи с этим весьма важно применение инженерно-геодезических методов и средств контроля прямолинейности, обеспечивающих требуемую точность установки корпуса.

Суммарную погрешность контроля прямолинейности геометрической оси корпуса независимо от способа суммирования составляющих погрешностей можно определить согласно зависимости

$$m_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (1)$$

где λ_i и δ_i — элементарные систематические и случайные погрешности соответственно.

К систематическим погрешностям относят методические — λ_1 ; влияние внешних условий — λ_2 и приборные — λ_3 . Природа последних (λ_3) в достаточной мере изучена. На основании определения их значений в результате измерений могут быть внесены соответствующие поправки.

Методические погрешности λ_1 зависят от несовершенства методики контроля и свойств объекта измерений. Влияние названных погрешностей на точность установки корпуса тем более существенно, что геометрическая ось корпуса является технологической осью вращающейся печи.

При фиксации опорной линии или створа вне корпуса о прямолинейности геометрической оси судят на основании измерений расстояний от них до наружной поверхности металла корпуса. Во время измерений при ремонте корпуса возможность нескольких или хотя бы одного полного поворота корпуса отсутствует. Поэтому невозможно произвести измерения расстояний до нескольких точек корпуса с последующим усреднением их. Вследствие этого на результаты контроля и точности установки корпуса существенное влияние оказывают отклонения его формы от цилиндрической. Допустимые значения отклонений для печей различных диаметров составляют 6...10 мм. Допустимые значения отклонений от прямолинейности геометрической оси корпуса составляют ± 3 мм на опорах.

Очевидно, что значение систематической методической погрешности сопоставимо с допустимыми отклонениями от прямолинейности геометрической оси корпуса. Вследствие этого создается пороговое несоответствие между требованиями к точности установки, назначаемыми с точки зрения механической прочности, надежности и долговечности корпуса и возможными средствами контроля его установки.

Повышения точности установки корпуса можно достичь за счет уменьшения влияния систематических погрешностей и повышения точности фиксации опорной линии. Методы и средства контроля прямолинейности геометрической оси корпуса, предусматривающие фиксацию опорной прямой внутри корпуса [3], максимально ослабляют влияние систематических погрешностей λ_1 и λ_2 .

Фиксация опорной прямой внутри корпуса позволяет свести до минимума систематическую погрешность влияния внешних ус-

ловий. Опорную прямую располагают по оси корпуса, чем обеспечивают ее равноудаленность от всех точек корпуса. Это позволяет сохранить неизменность температуры по всей длине опорной линии. Кроме того, внутри корпуса отсутствует перемещение масс воздуха. Для предотвращения воздействия солнечной радиации измерения производят ночью, а во время ремонта работающую печь отделиют от ремонтируемой теплоизоляционным экраном.

Основными случаями погрешностей для такого вида инженерно-геодезических измерений рекомендуется [4] считать следующие: визирования — δ_1 ; за перефокусировку зрительной трубы — δ_2 ; за центрирование и редукцию — δ_3 ; совмещения центра марки с опорной прямой или ввода марки в створ — δ_4 ; погрешности измерения расстояния от опорной прямой или створа до точек наружной поверхности корпуса — δ_5 . Названные погрешности в случае фиксации створа или прямой на расстоянии 200 м высокоточным нивелиром или точным теодолитом [1, 4, 5] имеют следующие значения: $\delta_1 = 0,4 \dots 0,7$ мм; $\delta_2 = 0,4 \dots 0,7$ мм; $\delta_3 = 0,2 \dots 0,7$ мм; $\delta_4 = 0,05 \dots 0,1$ мм; $\delta_5 = 0,1 \dots 0,3$ мм.

Наиболее существенные погрешности связаны с применением оптических приборов δ_1, δ_2 , а также δ_4 . Ослабить влияние и полностью исключить их можно, применяя в качестве опорной линии лазерный луч.

Применение лазерных приборов для контроля прямолинейности геометрической оси корпуса описано в [6]. Однако принятая стандартная фиксация центра лазерного пятна не позволяет существенно повысить точность измерений.

Использование лазерного измерителя с фотоприемным устройством (ФПУ) позволяет исключить погрешность за перефокусировку зрительной трубы — δ_2 , а также значительно ослабить действие погрешностей δ_1 и δ_4 . Их значения будут определяться решающей способностью ФПУ и отсчетных приспособлений и могут быть равны нескольким микрометрам.

В результате исследования нескольких видов лазерных излучателей и ФПУ [8] установлено, что для высокоточного контроля прямолинейности следует использовать одномодовые лазеры, расхождение плотности излучаемой энергии у которых в поперечном сечении пучка описывается кривой Гаусса, например, ЛП-72, ЛПН-207 или ЛПН-208.

Для регистрации положения оси лазерного излучения использовано ФПУ дифференциального типа [2]. Оно наиболее полно удовлетворяет требованиям максимальной точности контроля и минимальной стоимости. Светодетективный элемент используемого ФПУ выполнен в виде 4-гранной пирамиды (см. рисунок), что позволяет вести одновременный контроль за положением лазерного пятна по двум координатам.

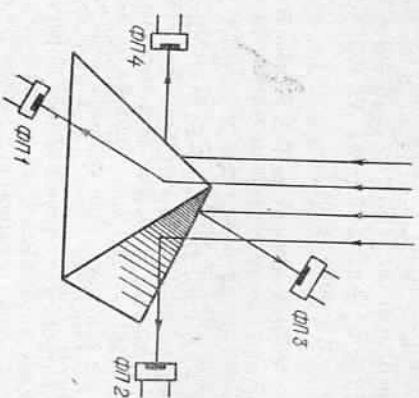
Поскольку названное ФПУ реагирует лишь на модулированный световой пучок, излучение лазера необходимо было промодулировать по плотности излучаемой энергии. Для этой цели был использован механический модулятор как наиболее устойчивый в работе и простой в изготовлении.

С учетом изложенного было создано лазерное устройство для контроля прямолинейности. В качестве излучателя использован серийно выпускаемый лазерный геодезический прибор ЛВ-5 с новыми доработками. Вместо устаревшего лазера ОКГ-13 установлен новый одномодовый лазер ЛПН-208, который при тех же габаритах по мощности излучения почти в четыре раза превосходит прежний. Излучение лазера модулируется с помощью механического модулятора, установленного в корпусе излучателя. На корпусе зрительная трубка. Следует отметить, что ни одна из перечисленных доработок не требует конструктивных изменений лазерного визира.

ФПУ выполнено двумя отдельными блоками: блок фотоприемников и блок обработки принимаемых фотосигналов и отображения информации (регистрающие приборы). Соединение блоков друг с другом осуществлено посредством многожильного микрокабеля. Для расширения функциональных возможностей ФПУ блок фотоприемников снабжен двухкоординатным механизмом перемещения в виде индикаторов часового типа. Методика контроля прямолинейности геометрической оси корпуса вращающейся печи с помощью описанного лазерного устройства аналогична известной [3].

Опорную линию закрепляют центрами тяжести контурных кривых двух поперечных сечений. В центре одного из них устанавливают лазерный излучатель, в центре второго — ФПУ. Путем расфокусировки коллимирующей системы излучателя добиваются прямой линии. С помощью наводящих микрометрических винтов ЛВ-5 лазерное пятно наводят на центр светодетективных элементов ФПУ. Контроль за положением лазерного пятна относительно центра светодетективного элемента ФПУ осуществляют по показаниям регистрирующих приборов. После совмещения лазерного элемента ФПУ, фиксирующего ее, положение излучателя остается неизменным на все время проведения измерений.

Непрямолнейность геометрической оси корпуса вращающейся печи определяют как отклонение центров контролируемых сечений от опорной линии. Значения отклонений получают путем перемещения блока фотоприемников с помощью механизма перемещения, установленного в центре сечения до совмещения центра светодетективного элемента ФПУ с центром лазерного пучка.



Светодетективный элемент ФПУ.

Случайные погрешности контроля прямолинейности геометрической оси корпуса вращающейся печи описанными лазерным устройством и ФПУ таковы:

$$\delta_1 = 0,1 \dots 0,3 \text{ мм}; \delta_2 = 0; \delta_3 = 0,2 \dots 0,7 \text{ мм};$$

$$\delta_4 = 0,05 \text{ мм}; \delta_5 = 0,1 \dots 0,3 \text{ мм}.$$

Погрешность δ_2 за перефокусировку зрительной трубы неключена, а δ_1 значительно уменьшена.

Суммарная погрешность контроля прямолинейности геометрической оси корпуса вращающейся печи, определенная согласно (1), при фиксации опорной прямой оптическими приборами составляет $0,95 \dots 1,72$ мм, а при фиксации опорной прямой оптическими приборами с ФПУ — $0,77 \dots 1,24$ мм. Последние значения m_2 удовлетворяют требованиям точности установки корпуса [7].

Список литературы: 1. Афанасьев В. А., Усов В. Г. Оптические приборы и методы контроля прямолинейности в инженерной геодезии. — М.: Недра, 1973. — 152 с. 2. Зацаринный А. В. Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений. — М.: Недра, 1976. — 247 с. 3. Кузюк И. В., Михалевский Ю. Н., Шевченко Т. Г. Современные методы контроля установочки оборудования. — Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1982. — 143 с. 4. Лукьянов Б. Ф. Расчет точности инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1981. — 285 с. 5. Михалев Д. Ш., Рунев И. В., Голубцов А. И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. — М.: Недра, 1977. — 152 с. 6. Островский А. И., Шевченко Т. Г., Грегорук В. Г. Контроль геометрической оси корпуса вращающейся печи с помощью лазерного луча. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29, с. 76—81. 7. Система планово-предупредительного ремонта оборудования цементных заводоуп. — М.: Стройиздат, 1980. — 452 с. 8. Шевченко Т. Г., Хропот С. Г. Применение лазерного указателя направления УНЛЗ-У5 для створных измерений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1984, вып. 39, с. 98—101.

Статья поступила в редакцию 09.02.85

УДК 551.24:528.2/3

А. А. ТАДДЕЕВ

О КАРТОГРАФИЧЕСКОМ СМЫСЛЕ ИНВАРИАНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При изучении современных движений земной поверхности одно из центральных мест должны занимать принципы инвариантности. Действительно, основной интерес представляют такие геометрические или физические свойства объектов, которые не зависят от выбора системы координат, т. е. величинны и различные соотношения, имеющие геометрический или физический смысл, должны быть инвариантны относительно системы координат, и, в частности, — относительно переноса их начала [1].

В настоящее время уделяется большое внимание физической (механической) интерпретации инвариантных характеристик деформации, определяемых с целью изучения современных движений земной поверхности, и, напротив, умалчивается их геометрический смысл. Цель данной работы — дать указанным характеристикам геометрическое, картографическое истолкование.

Рассмотрим некоторую поверхность S_1 . На ней выделим замкнутую односвязную область $\Delta \subset S_1$, целиком располагающуюся в области регулярности поверхности S_1 , а также выберем произвольные криволинейные координаты x, y . Пусть вследствие тех или иных причин произошла деформация и нарушилось прежнее взаимное расположение точек $M(x, y) \in \Delta$ поверхности S_1 . В таком случае можно утверждать, что область $\Delta \subset S_1$, каким-то образом отобразилась на область D некоторой поверхности S_2 . Предположим, что область D находится в области регулярности поверхности S_2 . Положенные точек $N \in D$ второй поверхности задается теперь криволинейными координатами x', y' (точки $N(x', y')$ суть точки $M(x, y)$, изменившие свое взаимное положение в результате деформации). Пусть некоторые функции

$$x' = f_1(x, y), \quad y' = f_2(x, y) \quad (1)$$

устанавливают определенное соответствие между точками $M(x, y) \in S_1$ и точками $N(x', y') \in S_2$.

Описанное соответствие между точками $M \in \Delta$ первой поверхности S_1 и точками $N \in D$ второй поверхности S_2 осуществляемое функциями (1), называется в математической картографии отображением (или изображением, проекцией) области $\Delta \subset S_1$ первой поверхности на область $D \subset S_2$ второй поверхности. Исследование отображения (1), заданного функциями, его реализующими, составляет так называемую прямоу задачу теории отображения