

$$n(z_k) = 1 + \frac{a_0 P_0 + P_1(z_k - z_0) + \dots + P_n(z_k - z_0)^n}{R T_0 + t_1(z_k - z_0) + \dots + t_n(z_k - z_0)^n}; \quad (9)$$

$$n(z_0) = 1 + \frac{a_0 P_0}{R T_0}, \quad (10)$$

где ξ — измеренное зенитное расстояние, a — постоянная, зависящая от длины проходящего излучения.

Значение координат точек световой кривой
 $Z_{\text{диск}} = 0,226 \text{ м}$ $\chi = 1054 \text{ м}$

Расстояние от начала световой кривой, м	$Z_k, \text{ м}$	$Z_k \cdot 10^{-3}$	n_k
0	—	—	—
100	0,175 · 10 ⁻²	0,175	1,00035293
200	0,200 · 10 ⁻¹	0,190	1,00035296
300	0,396 · 10 ⁻¹	0,204	1,00035298
400	0,607 · 10 ⁻¹	0,218	1,00035301
500	0,831 · 10 ⁻¹	0,231	1,00035304
600	0,107	0,243	1,00035307
700	0,131	0,256	1,00035310
800	0,157	0,268	1,00035313
900	0,185	0,280	1,00035317
1000	0,213	0,291	1,00035320
1100	0,243	0,302	1,00035323

В частности, ограничиваясь $n=2$, для коэффициентов t получены выражения

$$t_1 = \frac{\Delta t_1 - t_2 \Delta z_1^2}{\Delta z_1}; \quad (11) \quad t_2 = \frac{\Delta t_2 \cdot \Delta z_1 - \Delta t_1 \cdot \Delta z_2}{\Delta z_1 \cdot \Delta z_2^2 - \Delta z_2 \cdot \Delta z_1^2}, \quad (12)$$

где T_0 — измеренное значение температуры на высоте z_0 ,

$$\Delta t_1 = T_1 - T_0, \quad \Delta t_2 = T_2 - T_0, \quad \Delta z_1 = z_1 - z_0, \quad \Delta z_2 = z_2 - z_0.$$

Здесь T_i ($i=0, 1, 2$) — измеренные значения температуры на высотах z_i ($i=0, 1, 2$), а коэффициенты P_i ($i=1, 2$) определяются из следующих соотношений:

$$P' = -\frac{P_0}{T_0} \frac{g \mu}{R}; \quad (13) \quad P_2 = -\frac{g \mu P_1}{2 T_0 R} - \frac{P_1 t_1}{2 T_0}. \quad (14)$$

С целью апробации изложенной методики были произведены вычисления ординат z_k точек световой кривой над водной поверхностью при различных метеорологических условиях по результатам вычислений из специальных измерений.

Результаты вычислений приведены в таблице.

Как видно из таблицы, предлагаемая методика позволяет получить необходимое количество точек световой кривой. Однако из этих же вычислений выяснилось, что в некоторых случаях не получаются удовлетворительные результаты. Такое положение мож-

но объяснить влиянием ошибок определения метеозлементов и зенитного расстояния. Этот вопрос требует дополнительных исследований.

Список литературы: 1. Мисаши Д. И., Хижак Л. С., Музыка А. М. и др. Об одном методе определения рефракции в случае миражей. — В кн.: V Всесоюз. симпоз. по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1979, с. 179—183. 2. Мисаши Д. И., Хижак Л. С., Дидух И. И. и др. Определение вертикальной рефракции над равнинной поверхностью в инверсионный период. — В кн.: V Всесоюз. симпоз. по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1979, с. 184—187. 3. Хижак Л. С., Музыка А. М. Об одном частном методе определения световой кривой. — В кн.: Всесоюз. совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1983, с. 95—97. 4. Хижак Л. С., Дидух И. И., Музыка А. М. Об одном методе нахождения уравнения световой кривой. — В кн.: VI Всесоюз. симпоз. по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1981, ч. 3, с. 114—117.

Статья поступила в редакцию 28.12.84

УДК 528.658

С. Н. ХОДОРОВ

К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТРИЛАТЕРАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Планы инженерно-геодезические сети, которые используются при проектировании и строительстве различных народнохозяйственных объектов, можно создавать и методами трилатерации. Несмотря на ряд существенных недостатков, геодезическое обоснование в виде трилатерации прокладывает, например, при строительстве прецизионных сооружений. Технология развития таких сетей требует нестандартного подхода не только во время проектирования, но и при определении экономических критериев построения сетей трилатерации. Одним из критериев является стоимость создания таких сетей.

Расчет стоимости локальных трилатерационных сетей как важнейший элемент проекта работ не всегда просто осуществить. Известно, что стоимость измерений зависит от их точности. Поэтому для расчета стоимости при создании государственных геодезических сетей нормы выработки (времени) дифференцируют в зависимости от класса (разряда) сети. Поскольку требования к точности инженерно-геодезической трилатерационной сети диктуются разнообразием и спецификой задач при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений и не регламентируются классами (разрядами), установленными действующими инструкциями, то определение стоимостных показателей по установленным нормам выработки [4] затруднено.

К отмеченному можно добавить и то, что в действующих инструкциях и руководствах имеются некоторые противоречия относительно точности измерения сторон трилатерации. Так, по инструк-

ции [5] относительная средняя квадратическая ошибка измерения расстояний в трилатерации 3 и 4 классов составляет соответственно 1:100 000 и 1:40000, а в руководе [6] те же ошибки для трилатерации 4 класса, 1 и 2 разрядов соответственно равны 1:10 000, 1:50 000 и 1:20 000, в руководе [2] относительным средним квадратическим ошибкам измерения расстояний для трилатерации 4 класса, 1 и 2 разрядов по внутренней сходимости приписываются значения, соответственно равные 1:100 000, 1:500 000 и 1:120 000. Кроме того, из [1] можно понять, что трилатерация, как триангуляция и полигонометрия, создается по-

Т а б л и ц а 1
Точность измерения длин различными светодальномерами

Марка свето- дальномера	Средняя квадратичес- кая ошибка измере- ния, мм	Точность измерения длин, м				
		S=120 м	S=250 м	S=500 м	S=1000 м	S=2000 м
«Кристалл»	20+5·10 ⁻⁶ , S	20,6	21,25	22,5	25	30
КДП-3	15+5·10 ⁻⁶ , S	15,6	16,25	17,5	20	25
СТ-65	15+3·10 ⁻⁶ , S	15,36	15,75	16,5	18	21
«Блеск», 3 СМ-2	10+5·10 ⁻⁶ , S	10,6	11,25	12,5	15	20
«Кварц»	10+2·10 ⁻⁶ , S	10,24	10,5	11	12	14
СД-6	5+5·10 ⁻⁶ , S	5,6	6,25	7,5	10	15
«Гранат»	5+2·10 ⁻⁶ , S	5,24	5,5	6	7	5
СТ-3	4+1·10 ⁻⁶ , S	—	—	4,5	5	9

строениями 1—4 классов, а из инструкции [5] следует, что сети трилатерации создаются исключительно построениями 3—4 классов. Руководства же [2, 6] рекомендуют создавать трилатерацию также сетями ступення 1 и 2 разрядов.

Перечисленные обстоятельства в значительной степени усложняют поиск взаимосвязи между точностью и стоимостью измерений при построении инженерно-геодезических трилатерационных сетей. Определению этих взаимосвязей и посвящена данная работа.

К сожалению, в настоящее время ни один из действующих нормативных документов не устанавливает нормы времени или выработки на трилатерационные работы. При этих работах, как известно, проводят измерения сторон различных по геометрии сетей светодальномерами. Такие измерения нормируются в [3, 4] для сетей полигонометрии. В указанных нормативных документах измерителем для определения расценок является линия (сторона). Поэтому, очевидно, не имеет значения, какое количество сторон будут измерять с пункта: две (как в полигонометрии) или несколько (как в трилатерации). На этом основании с нормативами допущениями будем для трилатерации использовать нормы [4] измерения сторон полигонометрии устанавливаются для некоторых светодальномеров в зависимости от класса (разряда) сети, что для инженерно-геодезической сети не всегда приемлемо. В нормах [3] приводятся готовые расценки на измерение линий светодальномерами, которые дифференцируются в зависимости от длины

измеряемой линии в диапазонах 120—250, 251—500, 501—1000, 1001—2000 м. В основу наших выводов положим указанные расценки для третьей (средней) категории сложности работ, принимая их за условную единицу стоимости работ.

Рассчитаем вначале средние квадратические ошибки измерения линий для основных оптических светодальномеров (табл. 1), пользуясь уравнением регрессии [7]

$$m_s = \pm (a + b \cdot 10^{-6} S), \quad (1)$$

где a и b — постоянные составляющие светодальномера.

Т а б л и ц а 2
Показатели точности и стоимости при светодальномерных измерениях

Расстояние, м	Точность измерения длин, мм						
	«Кри- сталл»	КДП-3	СТ-65	«Блеск», 3СМ-2	«Кварц», СД-6	«Гран- ат»	СТ-3
120—250	20,92	15,92	15,56	10,92	10,37	5,92	5,37
250—500	21,88	16,88	16,12	11,88	10,75	6,88	5,75
500—1000	23,75	18,75	17,25	13,75	11,50	8,75	6,50
1000—2000	27,50	22,50	19,50	17,50	13,00	12,50	8,00
							5,50
							7,37

В табл. 2 приведены усредненные (для взятых из [3] диапазонов расстояний) показатели точности измерений линий и соответствующие им условные стоимости (расценки) на эти измерения. Для светодальномерных измерений, выполняемых при создании инженерно-геодезических трилатерационных построений, характерны небольшие расстояния. Поэтому связь между средними квадратическими ошибками измерения линий m_s и стоимостью C , описываемую криволинейным корреляционным уравнением, будем находить для расстояний 0,1...1,5 км. Дальнейшее исследование показало, что некая зависимость между m_s и C достаточно точно аппроксимируется в виде уравнения квадратной функции

$$C = k + pm_s + rm_s^2, \quad (2)$$

где k, p — неизвестные коэффициенты (2).

Подставив в (2) последовательно значения (табл. 2) m_s и C , будем иметь

$$\begin{aligned} C_1 &= k_1 + n_1 m_{s1} + r_1 m_{s1}^2, \\ C_2 &= k_2 + n_2 m_{s2} + r_2 m_{s2}^2, \\ C_3 &= k_3 + n_3 m_{s3} + r_3 m_{s3}^2, \\ C_4 &= k_4 + n_4 m_{s4} + r_4 m_{s4}^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Принимая во внимание принцип наименьших квадратов, из уравнений (3) получим систему трех нормальных уравнений:

$$\begin{aligned} 4k + n \Sigma m_s + r \Sigma m_s^2 &= \Sigma C, \\ k \Sigma m_s + n \Sigma m_s^2 + r \Sigma m_s^3 &= \Sigma m_s \cdot C, \\ r \Sigma m_s^2 + n \Sigma m_s^3 + r \Sigma m_s^4 &= \Sigma m_s^2 \cdot C. \end{aligned} \quad (4)$$

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

Из табл. 2 видно, что для светодальномера 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 светодальномеров.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 светодальномерных измерений определить стоимость работ, брать необходимый тип светодальномера, составить проект измерений, близкий к оптимальному.

Список литературы: 1. *Болышаков В. Д., Левчук Г. П., Баергарц Г. В.* и др. Справочник геодезиста. — Кн. 1. — М.: Недра, 1975. — 527 с. 2. *Гавишин В. Н., Косовов В. И., Хрунов Л. С.* Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. — М.: Недра, 1977. — 248 с. 3. *Единные нормы времени и расценки на изыскательские работы.* — Ч. 1. — М.: Стройиздат, 1980. — 343 с. 4. *Единные 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. *Косовов В. И.* Справочное руководство по съемке городов. — М.: Недра, 1974. с. 408. 7. *Спирidonov Д. И., Кудашин 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

Непрямолнейность 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 примерно трети всех аварий и неплановых простоев 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 точность 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 возможностям 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-