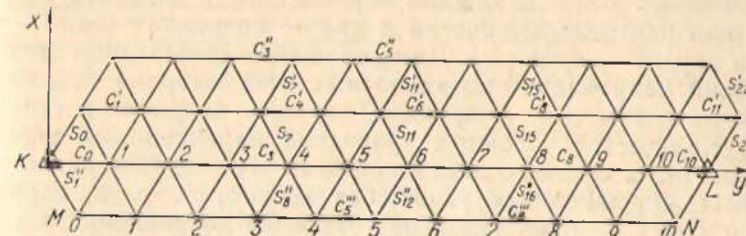


ВЛИЯНИЕ ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ НА ТОЧНОСТЬ СЕТЕЙ ТРИЛАТЕРАЦИИ С ИСХОДНЫМИ ПУНКТАМИ

В работах [1, 2, 3] приведены результаты исследований влияния исходных дирекционных углов на точность сетей трилатерации, в которых отсутствуют избыточные исходные пункты. Они показывают, что дирекционные углы оказывают существенное влияние на точность сетей с измеренными сторонами. Оказалось, что при равном числе исходных дирекционных углов, но при различном их расположении они не одинаково влияют на точность сети.



Макет **сети** трилатерации.

Дополним эти исследования, изучив влияние густоты и расположения сторон с исходными дирекционными углами на точность сетей трилатерации, имеющих избыточные исходные пункты.

Исследование выполнялось на макете сети трилатерации, состоящей из трех рядов равнобедренных треугольников (рисунок). Размер сети выбран таким, чтобы в каждом ее двоянном ряду имелось десять взаимно перекрещивающихся центральных систем. Точки K и L считались исходными, т. е. исследовалась сеть, построенная между двумя исходными точками. Рассмотрено шестнадцать вариантов сети, которые отличаются между собой плотностью и расположением сторон с исходными дирекционными углами. При этом принято в одних восьми вариантах, что известны дирекционные углы связующих сторон, а в других — промежуточных. Первые восемь вариантов обозначим *Св.*, а вторые *Пр.* Обозначения дополнялись цифрами, характеризующими плотность сторон с дирекционными углами, и буквами, которые указывают на характер размещения этих сторон. В каждом варианте сети оценивалась точность положения пунктов диагоналей KL и MN относительно исходного пункта K , т. е. определялась точность положения пунктов, находящихся в середине сети и на ее краю. Точность положения пунктов характеризовалась средними квадратическими поперечными и продольными сдвигами.

В первых шести вариантах исследовали влияние густоты от-
деланных связующих или промежуточных сторон с исходными ди-

$$\Delta d_{\text{эм}} = \Delta d_c \cdot \frac{2 \sin \alpha \left(1 - \sqrt{\frac{1 + \sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cdot d_{\text{мл}} + 2 \sin \alpha \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cdot \alpha \cdot \Delta d_{\text{мл}} + 2 \sin \alpha \cdot \Delta \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \times \\ + \frac{\times a \cdot d_{\text{мл}} + 2 \cos \alpha \cdot \Delta \alpha \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \times}{\times d_{\text{мл}} \cdot a + 2 \sin \alpha \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cdot d_{\text{мл}} + \Delta d_c} \cdot \quad (15)$$

Результаты применения оптических квантовых генераторов для контроля узлов цветных кинескопов

№ п/п экран- массоч. узла	Расстояние экран— маска в центре, мм	Расстояние экран— маска на краю, мм	Приме- чание
1	9,5	12,2	Не соот- ветству- ет рас- считан- ному
2	9,6	11,9	
3	9,5	12,1	
4	9,6	12,2	
5	9,4	12,0	
6	9,0	12,4	
7	9,2	12,2	
8	9,6	12,4	

При экспериментальном исследовании предлагаемого метода были получены результаты, приведенные в таблице.

Из данных эксперимента (см. таблицу) видно, что с помощью предложенного метода можно довольно точно собирать и контролировать экранно-масочные узлы.

Применение этого метода дает возможность с минимальной затратой времени производить установку расстояния экран—маска при сборке экранно-масочных узлов, а также оперативно контролировать собранные узлы после различ-

ных технологических операций, например, температурной стабилизации, нанесении люминофора и др.

Статья поступила в редколлегию 22.04.82

рекионными углами. В этих вариантах считали, что известны дирекционные углы сторон:

- в варианте *Св. 1* — s_0, s_{22} ;
- в варианте *Св. 2* — s_0, s_{11}, s_{22} ;
- в варианте *Св. 3* — s_0, s_7, s_{15}, s_{22} ;
- в варианте *Пр. 1* — c_0, c_{10} ;
- в варианте *Пр. 2* — c_0, c_6', c_{10} ;
- в варианте *Пр. 3* — c_0, c_4', c_8', c_{10} .

Средние квадратические продольные и поперечные сдвиги определяли по их весам. Для получения весов составили все возникающие в сети условные уравнения и весовые функции сдвигов для всех оцениваемых пунктов. В исследуемых вариантах сетей возникают условные уравнения центральных систем, координат и дирекционных углов. В каждом варианте было двадцать условных уравнений центральных систем и два — координат (одно — абсцисс, а другое — ординат). Для упрощения составления этих двух уравнений направление координатных осей выбрано так, как показано на рисунке, т. е. принято, что сеть направлена строго по оси y . Количество условных уравнений дирекционных углов зависит от числа сторон с дирекционными углами. Оно равно числу исходных дирекционных углов без одного, т. е. в вариантах *Св. 1* и *Пр. 1* — одно условное уравнение дирекционного угла, в вариантах *Св. 2* и *Пр. 2* — два, а в вариантах *Св. 3* и *Пр. 3* — три.

Оцениваемых пунктов в сети 21:10 в диагонали KL и 11 в диагонали MN . Поэтому необходимо было составить 21 весовую функцию поперечного сдвига и столько же функций продольного сдвига.

Условные уравнения и весовые функции поперечного сдвига составили в угловой форме, а затем выразили в них поправки в углы через поправки в стороны и свели подобные члены. Все это сделали так, как показано в [4]. Обратим только внимание на то, что в вариантах *Пр. 1*, *Пр. 2* и *Пр. 3* поперечные сдвиги пунктов 1 и 10 равны 0, так как пункты K и L и дирекционные углы сторон c_0 и c_{10} — исходные. Следовательно, эти пункты будут иметь только продольные сдвиги.

Для каждого из вариантов составлена таблица коэффициентов условных уравнений и весовых функций, а затем таблица нормальных уравнений. При решении нормальных уравнений получили обратные веса оцениваемых функций уравненных сторон, т. е. обратные веса поперечных и продольных сдвигов. Решение нормальных уравнений и определение обратных весов выполнено на ЭВМ М-220. Для контроля проведенных вычислений условные уравнения дирекционных углов и координат составлялись по разным ходовым линиям.

По полученным таким путем обратным весам вычисляли средние квадратические сдвиги. При этом было принято, что средняя квадратическая погрешность единицы веса равна 1 см.

В табл. 1 представлена часть полученных результатов, а именно, приведены поперечные сдвиги наиболее слабых пунктов диагонали KL и сдвиги пунктов 4, 5, 6, 9 и N диагонали MN . Для сравнения имеются поперечные и продольные сдвиги пунктов такой же сети с исходными пунктами K и L , но без дирекционных углов (в числителе поперечные, а в знаменателе — продольные сдвиги). Следует отметить, что продольные сдвиги этих пунктов приведены только для варианта *Св.1* (также в знаменателе). Для

Таблица 1

Сдвиги пунктов сети трилатерации,
построенной между двумя исходными пунктами,
с одиночными дирекционными углами
 $\mu = 1$ см

Варианты	Пункты диагонали KL			Пункты диагонали MN				
	4	5	6	4	5	6	9	N
Сеть с исходными пунктами без дирекционных углов	3,0 1,1	3,4 1,2	3,4 1,2	6,1 1,8	7,6 2,0	9,0 2,1	13,7 2,6	15,3 2,7
<i>Св. 1</i>	2,9(97) 1,1	3,2(94) 1,7	3,3(97) 1,1	5,9(97) 1,8	7,4(97) 2,0	8,9(99) 2,1	13,6(99) 2,6	15,3(100) 2,6
<i>Св. 2</i>	2,5(83)	2,7(79)	2,7(79)	5,9(97)	7,4(97)	8,9(99)	13,6(99)	15,2(99)
<i>Св. 3</i>	2,3(77)	2,4(71)	2,5(74)	5,9(97)	7,4(97)	8,9(99)	13,4(98)	15,0(98)
<i>Пр. 1</i>	2,1(70)	2,3(68)	2,2(65)	5,3(87)	6,4(84)	7,6(84)	11,2(82)	12,4(81)
<i>Пр. 2</i>	2,0(67)	2,2(65)	2,2(65)	5,3(87)	6,4(84)	7,6(84)	11,2(82)	12,4(81)
<i>Пр. 3</i>	1,9(63)	1,9(56)	1,9(56)	5,3(87)	6,4(84)	7,5(83)	11,1(81)	12,4(81)

Других вариантов они не приводились, так как на них очень слабо влияют дирекционные углы. В скобках в таблице приведено соотношение в процентах сдвига пункта в данном варианте к сдвигу такого же пункта в сети без исходных дирекционных углов. Отличие его от ста характеризует влияние избыточных дирекционных углов.

Исследование первых шести вариантов показало, что одиночные дирекционные углы промежуточных сторон оказывают большее влияние на точность положения пунктов сети, построенной между исходными пунктами, чем одиночные дирекционные углы связующих сторон. Но при любом расположении в сети сторон с дирекционными углами их влияние больше на тот ряд треугольников, к которому принадлежат эти стороны. Увеличение густоты дирекционных углов промежуточных сторон меньше действует на поперечные сдвиги пунктов, чем увеличение густоты дирекционных углов связующих сторон.

В последующих шести вариантах рассмотрено, как влияет увеличение числа дирекционных углов на краях сети при разном расположении одиночных дирекционных углов в ее середине. Для

этого в отдельных вариантах считали, что исходные дирекционные углы имеют такие стороны:

в варианте *Св. 1к* — $s_0, s_{22}, s_1', s_{22}'$;

в варианте *Св. 2к* — $s_0, s_{11}, s_{22}, s_1', s_{22}'$;

в варианте *Св. 3к* — $s_0, s_7, s_{15}, s_{22}, s_1', s_{22}'$;

в варианте *Пр. 1к* — $c_0, c_{10}, c_1', c_{11}'$;

в варианте *Пр. 2к* — $c_0, c_6', c_{10}, c_1', c_{11}'$;

в варианте *Пр. 3к* — $c_0, c_4', c_8', c_{10}, c_1', c_{11}'$.

Методика проведения исследования такая же, как и в предыдущих вариантах. Часть полученных результатов приведена в табл. 2. Из них видно, что добавление на краях сети еще по одной стороне с дирекционным углом значительно усиливает общее действие всех дирекционных углов. При этом влияние дирекционных углов связующих сторон распространяется на все пункты сети и очень существенно уменьшает поперечные сдвиги пунктов нижней диагонали. При этом на них начинает распространяться действие исходных пунктов, так как поперечные сдвиги пунктов, одинаково удаленных от края сети, почти равные и в том ряде, где есть исходные пункты, и где их нет. А, как видно из табл. 1 (первая строка), действие исходных пунктов распространяется только на ряд, в котором они имеются. Этот эффект действия дополнительных дирекционных углов связующих сторон, расположенных на краю сети, очень ценный, так как приводит к большей однородности сети трилатерации по точности положения пунктов. Следует также отметить, что соотношение поперечных и продольных сдвигов наиболее слабых пунктов при таком размещении дирекционных углов не превышает 2,5 : 1. Сравнивая сдвиги, приведенные в табл. 2, можно сказать, что дополнение дирекционных углов на краю сети дирекционными углами в ее середине очень слабо уменьшает поперечные сдвиги пунктов.

Дирекционные углы промежуточных сторон на пункты среднего ряда треугольников оказывают более сильное влияние, чем дирекционные углы связующих сторон. Но они ничтожно мало действуют на пункты нижней диагонали.

Исследования последних вариантов сети проводились для выяснения влияния групп из двух-трех дирекционных углов связующих или промежуточных сторон. Рассмотрено четыре варианта, в которых исходные дирекционные углы имели стороны:

в варианте *Св. 2г* — $s_0, s_1', s_{11}, s_{11}', s_{12}, s_{22}, s_{22}'$;

в варианте *Св. 3г* — $s_0, s_1', s_7, s_7', s_8', s_{15}, s_{15}', s_{16}, s_{22}, s_{22}'$;

в варианте *Пр. 2г* — $c_0, c_1', c_6', c_5', c_5'', c_{10}, c_{11}'$;

в варианте *Пр. 3г* — $c_0, c_1', c_4', c_3, c_3', c_8, c_8'', c_{10}, c_{11}'$.

Результаты исследования этих вариантов сети приведены в табл. 3. Они показывают, что в последних вариантах достигается наибольшее повышение точности. Но характер влияния дирекци-

Таблица 2

Сдвиги пунктов сети трилатерации,
с увеличенным числом дирекционных углов
на ее краях
 $\mu = 1$ см

Варианты	Пункты диагонали KL			Пункты диагонали MN				
	4	5	6	4	5	6	9	N
<i>Св. 1к</i>	2,7(70)	2,3(68)	2,3(68)	2,4(39)	2,6(34)	2,5(28)	1,8(13)	1,3(08)
<i>Св. 2к</i>	2,1(70)	2,3(68)	2,4(68)	2,4(39)	2,5(33)	2,5(28)	1,8(13)	1,3(08)
<i>Св. 3к</i>	2,9(67)	2,1(62)	2,2(62)	2,3(38)	2,4(32)	2,4(27)	1,8(13)	1,3(08)
<i>Пр. 1к</i>	1,9(63)	2,1(62)	2,1(62)	5,3(87)	6,4(84)	7,5(83)	11,0(80)	12,2(80)
<i>Пр. 2к</i>	1,8(60)	2,0(59)	2,1(62)	5,3(87)	6,4(84)	7,5(83)	10,9(80)	12,1(79)
<i>Пр. 3к</i>	1,8(60)	1,8(53)	1,8(53)	5,3(87)	6,4(84)	7,5(83)	10,9(80)	12,1(79)

Таблица 3.

Сдвиги пунктов сети трилатерации,
построенной между двумя исходными пунктами,
с группами дирекционных углов
 $\mu = 1$ см

Варианты	Пункты диагонали KL			Пункты диагонали MN				
	4	5	6	4	5	6	9	N
<i>Св. 2г</i>	2,1 (70)	2,3 (68)	2,2 (62)	2,4 (39)	2,5 (33)	2,5 (28)	1,8 (13)	1,3 (08)
<i>Св. 3г</i>	1,7 (57)	1,7 (50)	1,7 (50)	1,9 (31)	2,0 (26)	1,9 (21)	1,6 (12)	1,1 (07)
<i>Пр. 2г</i>	1,8 (60)	2,0 (59)	2,0 (59)	5,3 (87)	6,4 (84)	7,5 (83)	10,9 (80)	12,1 (79)
<i>Пр. 3г</i>	1,4 (47)	1,6 (47)	1,6 (47)	5,2 (85)	6,3 (83)	7,5 (83)	10,9 (80)	12,0 (78)

онных углов здесь остается таким же, как и в предыдущих шести вариантах, т. е. он в основном определяется наличием на каждом крае сети двух сторон с дирекционными углами. Действие дирекционных углов сторон, находящихся в середине сети, намного меньше, чем это можно было ожидать. Но все же следует подчеркнуть, что в варианте *Св. 3г* поперечные сдвиги наиболее слабых пунктов не превышают удвоенной погрешности измеренных сторон, а продольные сдвиги равны погрешностям сторон. Соотношение сдвигов не превышает 2 : 1.

Проведенные исследования позволяют сделать такие выводы:

1. Изменение расположения сторон с дирекционными углами в сети трилатерации, построенной между исходными пунктами, значительно изменяет величину и характер их действия на точность положения пунктов.

2. Наибольший эффект действия дирекционных углов на точность положения пунктов достигается тогда, когда на каждом краю сети имеется не менее двух связующих сторон с дирекционными углами.

3. Качество сетей трилатерации, прокладываемых между пунктами более высоких классов, можно существенно повысить, дополняя линейные измерения астрономическими определениями ази-

мутов сторон. В сетях, имеющих в одном ряду 20—25 треугольников, наиболее оптимальной будет схема, предусматривающая определение азимутов крайних связующих сторон. В этом случае сеть трилатерации окажется проложенной как бы между двумя азимутально-дальномерными ходами. Если в одном ряде сети будет больше чем 25 треугольников, то тогда азимутально-дальномерный ход следует проложить и через середину сети трилатерации. Точность азимутальных определений должна быть 0,"5—0,"7 при точности измерения линий порядка 1 : 100 000 ... 1 : 200 000. Для характеристики точности пунктов сети можно пользоваться данными таблиц, приведенных в статье. При этом имеющиеся в них сдвиги необходимо умножать на среднюю квадратическую погрешность измерения линий в сети. Например, если линии измеряют радиодальномером «Луч», средняя квадратическая погрешность измерения которым равна $3 \text{ см} + 10^{-6} D$, где D — длина измеряемой линии, то при средней длине сторон в сети, равной 12 км, средняя квадратическая погрешность измеренной линии равна 6,6 см. Если схема сети примерно совпадает с вариантом *Св. 1к*, то поперечные сдвиги наиболее слабых пунктов сети будут равны $2,5 \times 6,6 = 16,5 \text{ см}$.

Список литературы: 1. Бронштейн Г. С. К вопросу об оценке точности ряда трилатерации. — Инж.-строит. изыскания. М.: Стройиздат, 1974, № 1 (34). 2. Костецкая Я. М. Учет исходных дирекционных углов при оценке точности сетей трилатерации. — Труды конференции «50 лет ленинского декрета об учреждении ВГУ». Изд-во Львов. ун-та, 1970. 3. Костецкая Я. М. О влиянии твердых дирекционных углов сторон ряда трилатерации на точность положения пунктов. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1977, вып. 25. 4. Костецкая Я. М. К вопросу оценки точности сплошных сетей трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6. Костецкая Я. М., Герасимов Ю. В. О точности сетей трилатерации с исходными дирекционными углами. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, вып. 35.

Статья поступила в редколлегию 11.05.82

ВДК 63:528.4+631.67+633.18

А. В. МАКУШИН

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПИКЕТНЫМИ ТОЧКАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

При создании рисовых оросительных систем на стадии технических чертежей проектирование объемов планировочных работ производят по цифровой модели местности [2, 4], для получения которой применяют способ нивелирования поверхности по квадратам. Размер сетки квадратов при съемке для подсчета объемов планировочных работ при проектировании орошаемых площадей достаточно полно исследован Ю. Г. Батраковым [2]. Однако раз-

мер сетки квадратов при съемке рельефа для проектирования реконструкции рисовых оросительных систем не изучен и требует исследования.

Поскольку по данным нивелирования поверхности по квадратам производят вычисление объемов планировочных работ, то очевидна связь между точностью определения объемов планировочных работ и сторонами сетки квадратов.

Для исследования воспользуемся известной упрощенной формулой для вычисления объемов планировочных работ в пределах срезки (насыпи) по сетке квадратов

$$V = a^2 \sum_{i=1}^n h_i, \quad (1)$$

где a — сторона квадрата при съемке;

$\sum_{i=1}^n h_i$ — сумма рабочих отметок центров тяжести квадратов в пределах срезки (насыпи);

n — число квадратов в контуре срезки (насыпи).

Тогда средняя квадратическая погрешность вычисления объема земляных работ будет равна

$$m_V = a^4 \cdot \sum_{i=1}^n m_h^2. \quad (2)$$

Положив $m_{h_1} = m_{h_2} = \dots = m_{h_n} = m_h$, формулу (2) запишем в виде

$$m_V^2 = a^4 \cdot m_h \cdot n. \quad (3)$$

Основными погрешностями определения отметок точек и, следовательно, рабочих отметок при съемке являются:

m_1 — погрешности, обусловленные обобщением элементов мезо- и микрорельефа вследствие того, что пикеты не покрывают всей снимаемой площади;

m_2 — погрешности из-за влияния мельчайшего рельефа (за топографическую шероховатость);

m_3 — погрешности, возникшие вследствие геодезических действий.

Таким образом, средняя квадратическая погрешность определения рабочей отметки при съемке будет равна

$$m_h = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}. \quad (4)$$

Точность съемки равнинного рельефа для составления проектов вертикальной планировки аэродромов и орошаемых площадей достаточно полно освещена в работах [2, 3, 5]. Однако вопрос точности съемки рельефа рисовых чеков в период реконструкции требует дополнительного изучения, поскольку поверхность чека имеет некоторые особенности. По сравнению с другими формами