УДК 528.063

М.Я.Брынь
Санкт-Петербургский филиал Военно-инженерного ун-та, Россия

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ГОРОДСКИХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Приведены результаты модельных исследований точности площадей земельных участков прямоугольной и треугольной формы. Показано, что наиболее выгодными формами участков для обеспечения максимальной точности являются участки в форме квадратов или равносторонних треугольников.

The model accuracy investigations of triangle or quadriangle form plots are given. It is shown that the most advantageous forms are squares and equal-sides triangles in order to provide the maximum accuracy.

Практическая реализация земельной реформы показывает, что государственный земельный кадастр, содержание которого составляют достоверные и необходимые сведения о правовом положении земель, их количественной, качественной и экономической оценке, развивается в основном в городах. В городах проживает бóльшая часть населения страны, преимущественно сосредоточены основные производственные фонды. Занимая около 1 % площади Российской Федерации, городские земли обеспечивают около 80 % сборов платежей за землю. Земли городов, особенно центральных их районов, имеют высокую стоимость и высокие ставки земельных платежей, что обусловливает повышенные требования к точности координат межевых знаков и площадей земельных участков. Одним из возможных путей повышения точности является совместная обработка координат межевых знаков и расстояний между межевыми знаками. Целью исследований являлось выявление закономерностей в точности вычисления площадей земельных участков по координатам вершин и определение влияния совместного уравнивания координат межевых знаков и расстояний между ними на точность вычисления площадей.

Поставленная задача решалась методом математического моделирования в среде математического пакета MathCAD. При заданной конфигурации участка многоугольной формы полагались известными «истинные» значения координат межевых знаков, расстояний между ними и площадь участка. После многократного моделирования ошибок определений координат и расстояний выполнялось совместное уравнивание этих величин коррелатным способом. В качестве исходных принимались уравнения

$$-\cos\alpha_{i,i+1}\upsilon_{x_i} - \sin\alpha_{i,i+1}\upsilon_{y_i} + \cos\alpha_{i,i+1}\upsilon_{x_{i+1}} + \sin\alpha_{i,i+1}\upsilon_{y_{i+1}} + \omega_i = 0, \qquad (1)$$

где $\alpha_{i,i+1}$ – дирекционные углы сторон участка; υ_{x_i}, υ_{y_i}, $\upsilon_{x_{i+1}}$, $\upsilon_{y_{i+1}}$ – поправки к координатам межевых знаков; ω_i – невязки условных уравнений.

После вычисления площадей участков как по значениям координат без

уравнивания, так и по предварительно уравненным координатам выполнялась оценка точности определения площади земельного участка по формуле $m_P = \sqrt{[\Delta^2]/n'}$, где Δ – разность между «искаженным» и «истинным» значением площади; n' – число реализаций (в исследованиях n' = 96).

Примем следующие обозначения: P – площадь участка; $m_{x(y)}$ – средняя квадратическая ошибка (СКО) координат межевых знаков; m_S – СКО «измеренного» расстояния между межевыми знаками; m_P – СКО площади земельного участка, вычисленная по координатам межевых знаков: без их предварительного уравнивания – (I), с уравниванием координат и использованием при этом всех сторон участка – (II), с уравниванием координат и использованием при этом половины длин сторон, через одну, – (III); n – число межевых знаков; K – коэффициент вытянутости участка (отношение длины к ширине – для участков прямоугольной формы и отношение высоты к основанию – для участков треугольной формы).

Рассмотренным методом выполнены исследования точности определения площади земельного участка от точности координат его вершин, числа межевых знаков, площади и конфигурации участка (табл.1-3).

Зависимость СКО площади участка треугольной равнобедренной формы от числа межевых знаков ($P \approx 390$ м^2, $m_{x(y)}$ = = 5 см, K = 1, I) следующая:

n	3	6	12	24
m_P, м^2	1,326	1,394	1,207	0,836

По результатам модельных исследований установлена эмпирическая формула априорной оценки точности определения площадей участков, близких по форме к прямоугольным и имеющим n точек поворота,

$$m_P = 4m_{x(y)}\sqrt{\frac{P}{n}}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}. \qquad (2)$$

Более чем на 20 моделях исследовано также влияние уравнивания координат межевых знаков на точность вычисления площадей, иллюстрация результатов исследований для трех участков представлена в табл.4.

Таблица 1

Зависимость точности площади участка прямоугольной формы от числа межевых знаков и точности определения координат его вершин ($P \approx 3$ га, $K \approx 3$, I)

$m_{x(y)}$, см	m_P, м^2, при n				
	8	16	32	48	64
1	2,85 / 3,16	2,05 / 2,24	1,61 / 1,58	1,28 / 1,29	1,10 / 1,12
2	5,33 / 6,32	4,42 / 4,47	3,31 / 3,16	2,42 / 2,58	2,32 / 2,24
3	8,71 / 9,49	6,96 / 6,71	4,88 / 4,74	3,75 / 3,87	3,30 / 3,35
5	14,0 / 15,8	10,7 / 11,2	8,30 / 7,91	6,33 / 6,45	5,44 / 5,59
10	26,2 / 31,6	21,7 / 22,4	16,6 / 15,8	12,3 / 12,9	10,7 / 11,2

Примечание. В числителе и знаменателе соответственно модельное и вычисленное по формуле (2) значение СКО площади.

Таблица 2

Изменение СКО площади участка прямоугольной формы от его размеров и точности определения координат вершин ($n = 32$, $K \approx 6$, I), м^2

P_i, м^2	P_i / P_1	$m_{x(y)}$, см				
		1	2	3	5	10
1662,13	1,0	0,39	0,72	1,15	1,81	3,68
6648,51	4,0	0,70	1,46	2,22	3,52	7,29
26594,05	16,0	1,54	1,92	4,12	7,53	14,56
106376,2	64,0	2,63	5,30	8,16	15,36	30,01

Таблица 3

Зависимость точности площади участков m_p от их конфигурации и точности определения координат вершин ($P \approx 400$ м^2, $n = 12$, I), м^2

$m_{x(y)}$, см	Форма участка					
	треугольная равнобедренная			прямоугольная		
	$K = \sqrt{3}/2$	$K = 1$	$K = 2$	$K = 1$	$K = 2$	$K = 3$
2	0,436	0,484	0,504	0,420	0,459	0,563
5	1,208	1,196	1,405	1,060	1,127	1,289
10	2,323	2,367	2,850	2,135	2,361	2,618

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Точность определения площади m_P участка многоугольной формы при условии некоррелированности координат зависит от точности определения координат вершин участка $m_{x(y)}$, его площади P, числа межевых знаков n и конфигурации. При прочих равных характеристиках m_P участка прямоугольной формы увеличивается приблизительно пропорционально $m_{x(y)}$, $\sqrt{P}$ и $\sqrt{(1+K^2)/2K}$ и с увеличением числа точек в n_1 раз уменьшается примерно пропорционально $\sqrt{n_1}$. Для участков треугольной равнобедренной формы СКО площади увеличивается пропорционально значению $\sqrt{(0{,}75+K^2)/1{,}73K}$ и уменьшается с равномерным увеличением числа точек по каждой стороне треугольника, за исключением одного случая, когда по сторонам участка определено по одной точке.

2. При вычислении площадей участков по независимым координатам вершин наиболее выгодными формами участков для обеспечения максимальной точности являются участки в форме равносторонних треугольников и квадратов.

3. Совместное уравнивание координат межевых знаков и всех непосредственно измеренных расстояний между ни-

Таблица 4

Влияние совместного уравнивания координат межевых знаков и длин сторон между ними на точность вычисления площади участков прямоугольной формы ($m_{x(y)} = 10$ см)

Площадь участка, число вершин	m_S, см	m_P, м^2			Увеличение точности	
		I	II	III	I/II	I/III
P = 168161,73 м^2, n = 20	0,1	23,30	20,47	21,59	1,14	1,08
	1	22,35	18,25	20,55	1,22	1,09
	2	21,87	20,79	21,26	1,06	1,03
	3	23,10	20,86	22,34	1,11	1,03
P = 30212,29 м^2, n = 20	0,1	12,65	5,76	12,51	2,20	1,01
	1	12,32	6,84	12,13	1,80	1,02
	2	14,13	8,27	14,16	1,71	1,00
	3	13,05	12,41	12,90	1,05	1,01
P = 390 м^2, n = 4	0,1	3,317	0,056	3,169	59,2	1,05
	1	3,623	0,260	3,449	13,9	1,05
	2	3,608	0,472	3,509	7,60	1,03
	3	3,523	0,739	3,517	4,97	1,00

ми приводит к повышению точности определения площадей, для прямоугольников – до 14 раз, для многоугольников – в 1,1-1,8 раз. Эффект повышения точности зависит от геометрии участка (числа и расположения межевых знаков), соотношения $m_{x(y)} / m_s$ и площади участка. Использование при уравнивании половины сторон участка фактически не приводит к повышению точности определения его площади.

4. Для априорной оценки точности определения площадей участков предлагается использовать формулу (2).

Близость модельных и полученных по формуле (2) значений m_P (см. табл.1) подтверждает обоснованность использования данной формулы.