

# ВЛИЯНИЕ «ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ» КОНТУРОВ НА ТОЧНОСТЬ ВЕКТОРНЫХ ПЛАНОВ

**И.В. Оньков** («Тримм», Пермь)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Степногорском управлении строительства, с 1974 г. — в Пермском политехническом институте, с 1989 г. — в Горном институте УрО АН (Пермь), с 1993 г. — в Частном предприятии по созданию цифровых карт, с 1995 г. — в филиале ВИСХАГИ (Пермь), с 2000 г. — в Пермском филиале ООО «Недра» (Челябинск), с 2002 г. — в ООО «ПермНИПИнефть». С 2006 г. по настоящее время — научный консультант ООО «Тримм». Кандидат технических наук.

В настоящее время при создании карт и планов различных масштабов широко используются растровые изображения — ортофотопланы, созданные по аэро- и космическим снимкам. При векторизации зданий и сооружений, имеющих ортогональную (прямоугольную) форму, вследствие ошибок, вызванных дискретностью растра, и распознавания угловых точек объекта, происходит искажение ортогональной формы объектов на векторном изображении (рис. 1а). Помимо эстетической непривлекательности это приводит к неоднозначности решения некоторых метрических задач, например, определения линейных размеров прямоугольных объектов. Поэтому в ряде широко распространенных коммерческих программ, таких как ГИС «Карта 2008» (КБ «Панорама»), RasterDesk Pro (CSoft Development), Spotlight (CSoft Development) и др., реализована процедура «ортогонализации» контуров.

Для соблюдения условия ортогональности исходную форму контура объекта изменяют так, чтобы все углы нового (ортогонального) контура были прямыми, а его ребра — либо перпендикулярны, либо параллельны друг другу (рис. 1б). Кроме то-

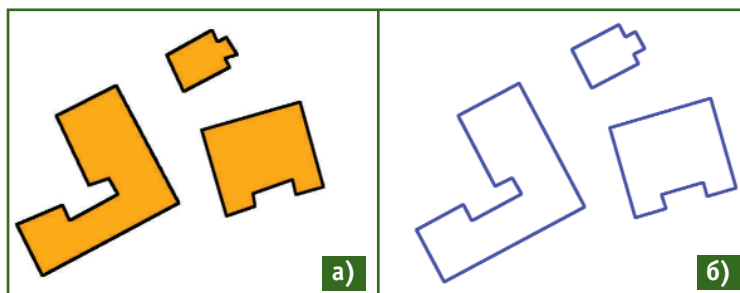
го, путем сдвига, поворота и масштабирования выполняют пространственную привязку ортогонального контура к исходному, при условии, например, минимума суммы квадратов расстояний между угловыми точками исходного и ортогонального контура.

Так как в этом случае меняется форма и пространственное положение контура, то происходит и изменение координат его угловых точек. В связи с этим возникают важные с практической точки зрения вопросы: каким образом процесс «ортогонализации» влияет на точность планового положения контуров? Приводит ли этот процесс к улучшению, либо к ухудшению геометрической точности векторного плана? Стоит ли, в по-

следнем случае, ради повышения графической строгости отображения объектов на карте жертвовать его точностью?

Для ответа на эти вопросы было выполнено статистическое моделирование методом Монте-Карло процесса «ортогонализации» контуров, а также обработаны материалы векторизации двух цифровых ортофотопланов городской территории, созданных по космическим снимкам IKONOS.

Исследования проводились с использованием прикладной программы, в которой был реализован разработанный автором алгоритм «ортогонализации» контуров. В основу алгоритма программы положен принцип минимизации расстояний между угловыми точками



**Рис. 1**

*Пример приведения углов поворота зданий к ортогональной форме с использованием процедуры «ортогонализации»: а) векторизованные по растру углы зданий; б) углы зданий после процедуры «ортогонализации»*

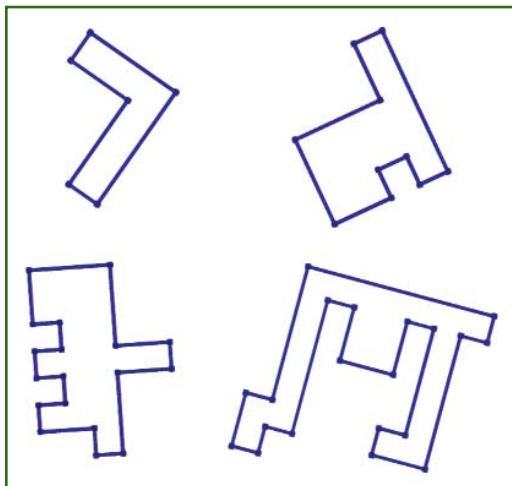


Рис. 2

Примеры моделируемых контуров

исходного и ортогонального контура, а также условие неизменности положения центра «тяжести» фигуры объекта до и после ее «ортогонализации».

#### ▼ Исследования на моделях

Статистическое моделирование выполнялось на 18 ортогональных контурах произвольной формы с числом угловых точек  $n$  от 4 до 20 (два набора данных по 9 фигур). Фигуры в наборах при одинаковом значении  $n$  отличались размерами и формой контура. Некоторые примеры моделируемых контуров показаны на рис. 2.

Точные координаты угловых точек искажались случайными ошибками с заданным законом распределением вероятностей, а затем полученный таким образом контур обрабатывался модулем «ортогонализации». Для

каждого из 18 моделируемых контуров было выполнено по 100 000 реализаций методом Монте-Карло с равномерным (ошибка дискретизации) и нормальным (ошибка опознавания) законами распределения ошибок, и вычислены значения  $\theta = \text{MRE}_{\text{орто}}/\text{MRE}_{\text{исх}}$ , т. е. отношение средних радиальных ошибок MRE (Mean Radial Errors) после «ортогонализации» **MRE<sub>орто</sub>** и до «ортогонализации» **MRE<sub>исх</sub>** по отклонениям координат угловых точек от их точных значений. Результаты вычислений приведены в табл. 1.

На основании результатов выполненного статистического моделирования можно с высокой степенью достоверности утверждать, что процедура «ортогонализации» приводит к уменьшению средних ошибок положения угловых точек контуров в среднем на 20–25% вне зависимости от числа угловых точек,

формы контура и закона распределения ошибок. Необходимо заметить, что эти выводы справедливы, если ортогонализация контуров выполняется по упомянутому выше алгоритму.

#### ▼ Исследования на реальных данных

Исходным материалом для исследований послужили результаты векторизации двух фрагментов ортофотоизображения городской территории, созданных по космическим снимкам IKONOS с размером пикселя растрового изображения на местности, равным 1 м. Снимки были получены в различные периоды года (весна, осень) с углами зенитного отклонения, соответственно,  $1,6^\circ$  и  $14,5^\circ$ . Оцифровка зданий выполнялась в ручном режиме по контурам крыш в ГИС MapInfo 6.5. На ортофотоплане, полученном по снимку с малым углом зенитного отклонения, сдвиг контуров не выполнялся



Рис. 3

Примеры векторизации зданий на ортоизображениях: а) снимок с углами зенитного отклонения  $1,6^\circ$ ; б) снимок с углами зенитного отклонения  $14,5^\circ$

Значения отношений средних радиальных ошибок угловых точек контуров

Таблица 1

Число угловых точек контура	Первый набор контуров		Второй набор контуров	
	Равномерный закон	Нормальный закон	Равномерный закон	Нормальный закон
4	0,764	0,786	0,765	0,786
6	0,736	0,760	0,736	0,760
8	0,724	0,748	0,723	0,748
10	0,733	0,751	0,718	0,742
12	0,749	0,760	0,712	0,735
14	0,746	0,758	0,716	0,736
16	0,739	0,750	0,718	0,739
18	0,740	0,752	0,721	0,741
20	0,738	0,751	0,722	0,742
Среднее	0,741	0,757	0,726	0,748

**Результаты оценки точности контуров по координатам угловых точек до и после «ортогонализации»**

**Таблица 2**

Наименование параметра	Первый файл контуров		Второй файл контуров					
	Исходные	Ортогональные	Исходные	Ортогональные	Исходные	Ортогональные		
	x	y	x	y	x	y	x	y
Средняя квадратическая ошибка, м	0,91	0,84	0,88	0,83	1,41	1,12	1,38	1,10
Средняя радиальная ошибка, м	1,07		1,06		1,56		1,53	

**Результаты оценки параметров 95% эллипса ошибок и круговой ошибки СЕ95**

**Таблица 3**

Наименование параметра	Первый файл контуров		Второй файл контуров	
	Исходные	Ортогональные	Исходные	Ортогональные
Большая полуось, м	2,41	2,34	3,49	3,41
Малая полуось, м	1,82	1,80	2,71	2,66
Круговая ошибка СЕ95, м	2,15	2,10	3,15	3,08

**Результаты оценки коэффициентов асимметрии, эксцесса и статистики критерия нормальности Мардиа**

**Таблица 4**

Наименование параметра	Первый файл контуров		Второй файл контуров	
	Исходные	Ортогональные	Исходные	Ортогональные
Коэффициент асимметрии	0,453	-0,006	0,941	0,547
Коэффициент эксцесса	0,065	0,023	0,227	0,224
Статистика критерия Мардиа	4,972	1,333	17,242	15,154

(рис. 3а). На ортофотоплане, созданном по снимку с углом зенитного отклонения 14,5°, контуры сдвигались параллельным переносом к основанию здания (рис. 3б).

В обработку были взяты только контуры зданий и сооружений, ортогональные по форме. Число угловых точек на таких контурах колебалось от 4 до 20, но в основном (90%) это были пяти-девятиэтажные здания прямоугольной формы с четырьмя угловыми точками.

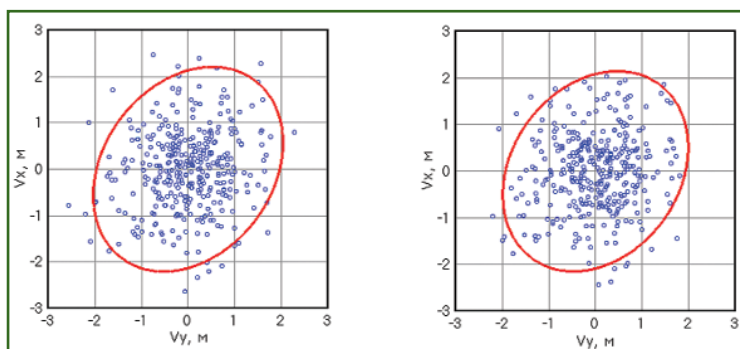
Полученные в результате векторизации TAB-файлы конвертировались в обменный формат MID/MIF и преобразовывались в текстовую форму, удобную для дальнейшей обработки в программе «ортогонализации» и статистического анализа.

По каждому участку территории формировалось два идентичных файла контуров: первый — с координатами непосредственно оцифрованных контуров, второй — с координатами одно-

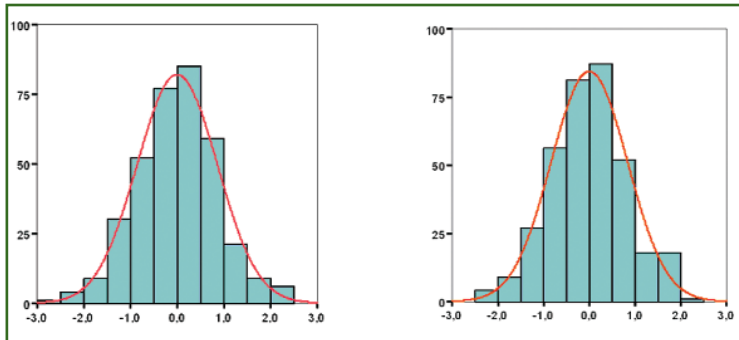
именных контуров, преобразованных к ортогональному виду.

Оценка точности выполнялась для каждого файла контуров по разностям, получаемым между координатами угловых точек контуров из файла и координатами этих же точек, снятых с цифрового топографического плана города масштаба 1:500, созданного путем оцифровки планшетов наземной топографической съемки города прошлых

лет. Предварительно из разностей координат точек исключались систематические сдвиги. Помимо среднеквадратических и средних радиальных ошибок вычислялись параметры 95% эллипса ошибок и значение круговой ошибки СЕ95 [1, 2]. Оценивался также двумерный закон распределения ошибок по значениям коэффициентов асимметрии, эксцесса и статистики критерия нормальности Мардиа [3].



**Рис. 4**  
Примеры диаграмм рассеяния ошибок контуров (первый файл контуров): исходные данные (слева); после «ортогонализации» (справа)



**Рис. 5**

Примеры гистограмм ошибок контуров по оси X (первый файл контуров): исходные данные (слева); после «ортогонализации» (справа)

Объем данных первого файла контуров составил 354 угловые точки (81 контур), а второго — 334 угловые точки (78 контуров). Результаты исследований по каждому из исследуемых параметров приведены в табл. 2–4 и на рис. 4 и 5.

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований на реальных данных, в основном, согласуется с результатами статистических исследо-

ваний на моделях и позволяет сделать вывод о том, что процесс «ортогонализации» контуров, по крайней мере, не ухудшает точность результатов векторизации раstra и существенно не меняет характер закона распределения ошибок.

▼ **Список литературы**

1. Титаров П.С. Характеристики точности CE и LE // [www.racurs.ru/?page=169](http://www.racurs.ru/?page=169).

2. Standards and practices for control surveys (Sp1), version 1.6. Inter-governmental Committee on Surveying and Mapping. ICSM Publication, no.1, 2004 // [www.icsm.gov.au/icsm/publications/sp1/sp1v1-6.pdf](http://www.icsm.gov.au/icsm/publications/sp1/sp1v1-6.pdf).

3. Mardia K.V. Tests of univariate and multivariate normality. In: S. Kotz et al., editors, Handbook of Statistics, vol 1, pp. 279–320, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1980.

**RESUME**

Problem of accuracy of the vectoring raster contours after their «orthogonalization» is considered. Studies on the models were fulfilled by both statistical modeling technique and using real data. Statistical modeling technique has shown that the contour accuracy after «orthogonalization» increases on average by 20–25%. An analysis of the experimental results makes it possible to conclude that contour «orthogonalization» does not either worsen the accuracy of the raster images digitizing or change considerably the nature of the error distribution.

**PENTAX**  
Глобальные геодезические решения

Каждому покупателю оборудования журнал «ГЕОПРОФИ» в подарок!

R-300  
V-200  
W-800

СКО измерения угла одним приемом от 1"  
Дальность измерения расстояния без отражателя - 270м  
Рабочая температура, С от -30 до + 58  
Диапазон компенсатора - 3"  
Влагозащитенность - IP55  
Внутренняя память - 22 000 точек  
Заводская гарантия - 2 года



**Pentax W-825NX**  
Раздвигая пределы...

ООО НПЦ «ГеоТрейд»  
109028, РФ, г. Москва, Покровский б-р, 16/10, стр. 1  
Тел.: +7 (495) 916 2335, тел./факс: +7 (495) 916 2173  
E-mail: [support@geo-trade.ru](mailto:support@geo-trade.ru), <http://www.geo-trade.ru>