

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ И ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.7

*Т.А. Хлебникова, Е.Н. Кулик*

СГГА, Новосибирск

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ВИДЕОСЦЕНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

Статья посвящена новым видам цифровых геопространственных продуктов – 3D-моделям. Приведена схема технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок, представлены результаты экспериментальной работы по исследованию точности.

территория, трехмерная измерительная видеосцена, ЦМР, ЦМО, оценка точности.

*T.A. Khlebnikova, Ye.N. Kulik*

SSGA, Novosibirsk

### **THE RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF 3-DIMENTIONAL STANDARDISED VIDEOSTAGE TECHNOLOGY OBTAINING BASED ON AEROSPACE SURVEYING DATA**

The paper is devoted to new kinds of digital geospatial products – 3D to models. Results of experimental works on research of accuracy are resulted the scheme of technology of reception of a measuring three – dimensional videostage on materials of space shootings.

territory, three-dimensional measuring videostage, DMD, DMO, estimation of accuracy.

В последние годы во многих областях народного хозяйства потребность в информации о местности уже не удовлетворяется использованием только топографических карт в аналоговом и цифровом видах. Недостаточная информативность карты, необходимость умения читать карту затрудняет ее использование, а в ряде специальных приложений существенно ограничивает ее применение.

Для решения ряда инженерных задач, включающих автоматизированный анализ состояния территории, особенно в районах интенсивного строительства требуется детальная информация о пространственном положении, относительных высотах объектов территории в цифровой форме.

Появились новые цифровые геопространственные продукты, получившие название 3D-моделей [1, 2, 3]. Получению таких новых видов цифровой продукции способствовало использование достижений трехмерной машинной графики при пространственном моделировании местности [1] в геоинформационных технологиях.

В общем случае трехмерные цифровые модели представляют собой трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности. В научной и технической литературе приводятся различные определения и обозначения, например: трехмерные виртуальные модели местности или 3D (3-Dimensional)-визуализации, виртуальные модели местности, цифровые пространственные модели местности, пространственные модели местности, трехмерные цифровые модели, 3D-модели, 3D-ЦММ, 3D-сцены, трехмерные текстурированные модели реалистического вида.

Перечень актуальных 3D-продуктов постепенно расширяется. В настоящее время наиболее востребованы визуальные цифровые модели городов. В крупных европейских городах трехмерная географическая информация используется при решении таких задач, как городское планирование, управление подземным транспортом, защита от шума и др. [4, 5].

Исследования, изложенные в данной статье, являются продолжением работ, опубликованных в [6, 7]. В работе [7] на основе базовых понятий, приведенных в известных словарях по геоинформатике и картографии: данные, пространственные данные, геопространственные данные, местность, территория, сформулировано определение цифрового геопространственного вида продукции, который рассматривается в статье.

Трехмерная измерительная видеосцена – трехмерная цифровая электронная модель территории (3D ЦМТ), включающая в себя (или содержащая) цифровую модель рельефа и модели (модель) других объектов, расположенных в границах рассматриваемой территории, предназначенная для визуализации в статическом или динамическом режимах и расчетно-измерительных операциях с использованием специальных программных средств ГИС.

Из данного определения следует, что трехмерные видеосцены включают модели земной поверхности – цифровые модели рельефа (ЦМР) и модели наземных (подземных) искусственных объектов – цифровых моделей объектов (ЦМО), как правило, созданных человеком.

Источниками информации для получения ЦМР, ЦМО могут служить различные данные. При создании видеосцены решаются две задачи: конструирование геометрии границ объектов и текстурирование модели.

По мере практического применения трехмерных цифровых моделей территории пользователи выявили недостатки, приводящие к ограничению их пользования. Поэтому совместное использование цифровых топографических карт, планов (ЦТК, ЦТП) и трехмерных измерительных видеосцен позволит по наиболее наглядно опознаваемым объектам на трехмерной видеосцене определять значения координат и высот точек интересующего объекта территории на циф-

ровой карте, плане с точностью, регламентированной для масштаба данной карты (рисунок).

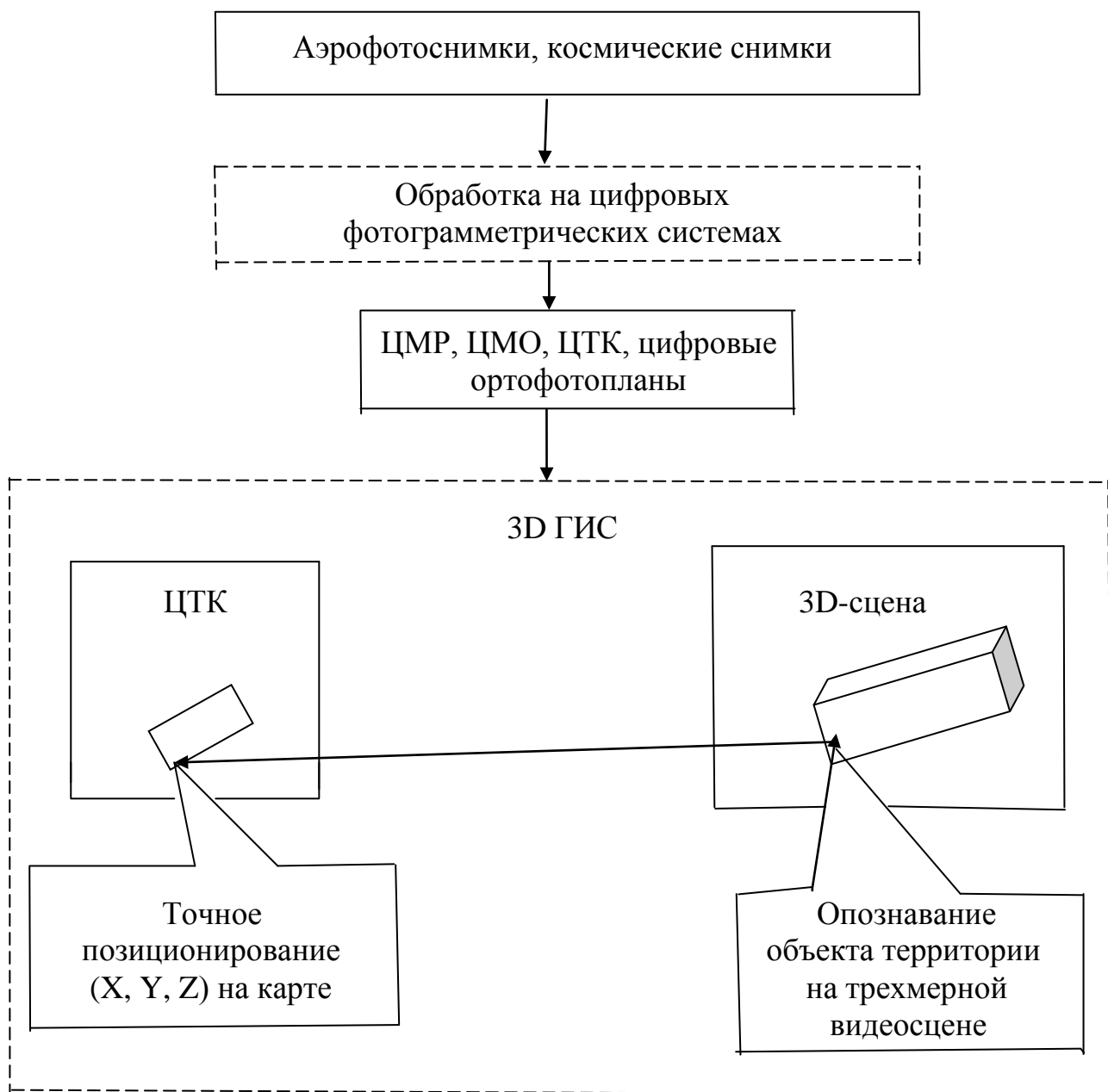


Рис. Обобщенная схема технологии создания измерительных трехмерных видеосцен

В связи с вышеизложенным в технологию получения измерительных трехмерных видеосцен включены следующие этапы.

1. Создание цифровых моделей рельефа и объектов, цифровых карт (планов), ортофотокарт по материалам аэрофотосъемки, космической съемки высокого разрешения средствами цифровых фотограмметрических систем по известной технологической схеме [8].

2. Создание модели поверхности территории и объектов на ней расположенных, согласование их средствами 3D ГИС.

3. Создание трехмерной видеосцены средствами 3D ГИС.

Для формирования ЦМР, ЦМО наиболее часто используются аэрокосмические материалы, обработка которых выполняется средствами фотограмметрических технологий.

На современном топографо-геодезическом производстве фотограмметрические работы являются основной частью технологии создания и обновления ЦТК, ЦТП, цифровых ортофотопланов, специализированных планов, ЦММ [8].

Достоинства фотограмметрических технологий – высокая информативность и точность определения координат и высот точек местности по материалам аэрофото- и космосъемки, а также высокая степень автоматизации современных фотограмметрических приборов – цифровых фотограмметрических станций (ЦФС). Кроме того, материалы аэрокосмических съемок можно использовать для текстурирования участков земной поверхности, что позволяет повысить на качественном уровне реалистичность визуализации территории [9].

Определены необходимые условия, при которых будут получены ЦМР, ЦМО, удовлетворяющие требованиям для дальнейшего создания измерительных трехмерных видеосцен.

1. Измерительная трехмерная видеосцена должна включать цифровую модель рельефа и цифровую модель объектов местности, имеющих в том числе искусственное происхождение.

2. Масштаб исходных материалов аэрофото- и космосъемки должен обеспечивать создание ЦММ в диапазоне не мельче М 1 : 10 000.

3. Текстура трехмерных видеосцен должна быть получена по материалам аэрофото- и космосъемки.

4. Точность используемых ЦМР, ЦМО должна быть не ниже заданной точности создаваемой трехмерной видеосцены.

Поскольку 3D ЦМТ используется для решения в том числе и метрических задач, то закономерно возникает вопрос о степени идентичности модели рельефа и моделей объектов, полученных на ЦФС, моделям рельефа и объектов, полученных в среде 3D ГИС.

В этой связи экспериментальные исследования предусматривали проверку степени идентичности цифровой модели рельефа и цифровых моделей объектов, полученных на ЦФС и трехмерной видеосцене, полученной в средах 3D ГИС.

Экспериментальные исследования технологии выполнялись на производственных материалах аэрофотосъемки с характеристиками: масштаб залета – 1 : 8 000, фокусное расстояние АФА – 153 мм, формат кадра 23 × 23 см. Территория объекта (с условным названием Северный-2) представляла собой слабо всхолмленную местность с застройкой сельского типа, с луговыми массивами, небольшими лесными участками.

Сбор трехмерной пространственной информации осуществлялся средствами ЦФС (ЦНИИГАК, г. Москва, ГНПП «Геосистема», г. Винница) в объеме 0,6 НЛ плана масштаба 1 : 2 000.

По объекту населенного пункта Северный-2 выполнено следующее:

- по имеющимся результатам сгущения сети построены стереоскопические модели по каждой стереопаре аэрофотоснимков выбранного объекта;
- выполнен сбор ЦМР в виде горизонталей с сечением 1 м; число горизонталей – 68;
- выполнен сбор ЦМО средствами программного обеспечения (ПО) Digitals по слоям в соответствии с классификатором, сформированным в среде Digitals на основе существующего классификатора-шаблона для указанного масштаба, исходя из состава объектов на рассматриваемой территории; число слоев – 44; количество объектов (линейных, площадных, точечных) – 3 307;
- конвертирование результатов сбора цифровой информации для ЦМР, ЦМО в форматы экспорта MID/MIF;
- импорт результатов сбора цифровой информации для ЦМР, ЦМО в ГИС ПАНОРАМА – ГИС Карта 2005 (версия 9.15.3), далее ГИС Карта 2005;
- импорт результатов сбора цифровой информации для ЦМР, ЦМО в ERDAS IMAGINE (Leica Geosystems & GIS Mapping) – VirtualGIS (версия 9.0), далее VirtualGIS.

Создание трехмерной видеосцены выполнялось в средах двух 3D ГИС: ГИС Карта 2005 и VirtualGIS.

Анализ метрической точности 3D ЦМТ проводился по следующей методике.

1. Оценка точности выполнялась по высотной составляющей метрической информации контрольных точек, так как плановые координаты точек ЦМР, полученные на ЦФС, не изменяются при импорте их в 3D ГИС.

2. В качестве контрольных точек были приняты четко опознаваемые точки (на поверхности земли, углы строений на поверхности земли, на углах крыш), измеренные опытным оператором на стереофотограмметрических моделях. Стереофотограмметрические модели строились по результатам фотограмметрического сгущения, результаты которого можно охарактеризовать следующими оценками:

- средние погрешности в плановом положении контрольных точек не превышали 0,3 мм в масштабе плана;
- средние расхождения в плановом положении общих точек смежных маршрутов не превышали 0,5 мм в масштабе плана;
- средние расхождения урavnенных высот и геодезических отметок контрольных точек не превышали 0,2 высоты сечения рельефа.

3. Исходные данные для построения поверхности рельефа на ЦФС были подготовлены в виде горизонталей с сечением рельефа 1м.

4. Модель земной поверхности и объектов строилась средствами ГИС Карта 2005 и средствами программного комплекса VirtualGIS.

Модель земной поверхности в обеих ГИС представлена матрицей высот, являющейся регулярной структурой, содержащей элементы, значения которых – высоты рельефа местности.

Размер элемента матрицы при построении трехмерной видеосцены средствами ГИС Карта 2005 задавался значениями: 1, 2, 3, 5, 10, 20 м, средствами VirtualGIS – 1, 5, 10, 20 м.

Результаты исследований показали, что программное обеспечение ГИС Карта 2005 (версия 9.15.3) не имеет функции измерения значений высот точек, расположенных на объектах, т. е. выше поверхности земли. В ГИС VirtualGIS такие функции имеются. При этом фрагмент трехмерной видеосцены с выбранным объектом можно вращать, наклонять, увеличивать.

Результаты оценки точности для ГИС Карта 2005 в виде расхождений высот на контрольных точках представлены в табл. 1, для VirtualGIS – в табл. 2, где  $v$  – значение средней ошибки;  $m$  – значение средней квадратической ошибки.

Таблица 1

Результаты оценки точности высот контрольных точек, полученных средствами ГИС Карта 2005

Номер контр. точки	Размер ячеек матрицы, м			Номер контр. точки	Размер ячеек матрицы, м		
	1,0	2,0	3,0		5,0	10,0	20,0
	ΔН, м				ΔН, м		
2 угол	1,53	2,307	2,73	2 угол	2,47	2,56	2,01
3	-0,28	-0,30	-0,35	3	-0,20	-0,20	0,80
1 угол	1,83	1,77	1,84	1 угол	1,55	1,40	2,40
4 угол	-3,27	-3,32	-3,16	4 угол	-3,30	-3,46	-3,46
60	-1,44	-1,491	-1,29	60	-1,60	-1,60	-0,60
48	-0,17	-0,11	-0,20	48	-0,30	-1,00	0,00
23 угол	0,02	0,01	0,07	23 угол	0,13	0,20	0,20
24 угол	-0,44	-0,50	-0,47	24 угол	-0,46	-0,61	-1,00
25 угол	-0,10	-0,08	-0,09	25 угол	-0,16	-0,14	0,03
26 угол	0,92	0,93	0,88	26 угол	0,94	1,00	1,15
22 угол	0,17	0,14	0,15	22 угол	0,10	0,10	0,10
62 угол	-0,16	-0,14	-0,20	62 угол	-0,06	0,06	0,23
52	0,42	0,17	0,32	52	0,60	1,40	3,40
68	0,80	0,80	0,80	68	0,80	1,80	2,80
56 угол	0,16	0,12	0,08	56 угол	0,20	0,20	0,20
69	-0,30	-0,30	-0,30	54	-0,24	-0,60	-
39	-0,50	-0,50	-0,50	38 зем.	0,11	0,10	-
40 угол	-0,80	-0,80	-0,80	61	-	0,50	0,50
41	0,59	0,61	0,60	69 зем.	-0,30	-	-0,30
n	19	19	19		26	26	26
v	0,80	0,96	0,78		0,66	0,78	1,11
m	1,15	1,39	1,16		1,02	1,15	1,57

Таблица 2

Результаты оценки точности высот контрольных точек,  
полученных средствами Virtual GIS

Номер контрольной точки	Размер ячеек матрицы, м			
	1,0	5,0	10,0	20,0
	$\Delta H$ , м			
3	0,30	0,20	0,36	1,10
4	-2,83	-3,17	-2,88	3,18
60	-1,41	-0,51	-1,31	1,10
20 (уг)	+1,84	0,87	1,36	0,90
21 (уг)	-0,55	-0,67	-0,45	-0,61
22	0,45	0,32	0,48	0,48
43 (уг)	1,28	1,07	1,53	1,12
44 (уг)	-0,40	-0,58	-0,81	-0,50
45 (уг)	0,37	0,06	0,18	-0,50
40 (уг)	0,80	0,50	0,64	0,43
19	0,39	-0,02	0,53	0,03
42	-0,20	0,03	-0,23	-0,29
6 (уг)	-0,42	0,03	-0,21	-0,32
5 (уг)	-0,25	-0,37	-0,31	-0,09
27 (уг)	-0,48	-0,60	-0,63	-0,47
48	0,44	0,37	0,35	0,23
40	-0,68	-0,38	-0,63	-0,37
43	-0,32	0,08	-0,27	-0,13
24	0,39	-0,23	-0,16	-0,05
23	0,71	0,22	0,39	0,55
32	0,85	0,62	0,56	0,62
17 (уг)	0,38	0,29	0,70	0,32
34	0,78	0,45	0,14	-0,07
46	0,48	0,16	0,44	0,35
18	0,94	0,75	0,40	0,56
1	1,70	2,04	2,27	2,13
n	26	26	26	26
v	0,77	0,55	0,70	0,63
m	1,03	0,87	0,96	0,92

Результаты анализа точности трехмерной видеосцены, включающей цифровую модель рельефа и модели объектов, в объеме выбранных исходных данных позволяют сделать следующие выводы.

1. Значения средних погрешностей высот контрольных точек, полученных средствами ГИС Карта 2005 и VirtualGIS практически сопоставимы для ЦМР, где размер ячейки матрицы от 1 до 20 м.

2. Значения средних погрешностей высот контрольных точек практически одного порядка при размерах элемента матрицы от 1 до 10 м. При этом объем дисковой памяти матрицы с уменьшением элемента матрицы значительно возрастает.

3. При использовании в качестве исходных данных ЦМР в виде горизонталей с сечением рельефа 1 м для последующего построения измерительной трехмерной видеосцены, размер элемента матрицы достаточно задавать не плотнее, чем 10 м.

4. Полученные значения средних погрешностей высот на контрольных точках трехмерной видеосцены для обеих 3D ГИС превышают допуски, регламентированные Инструкцией по фотограмметрическим работам [8] при создании ЦМР для масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 1 м средствами ЦФС.

Исследования показали, что значительные расхождения высот получены на точках, расположенных вблизи строений. Последние расположены на выровненных площадках, где рельеф был изменен.

5. Для получения 3D ЦМТ более высокой точности необходимо использовать дополнительные данные в виде высот точек, расположенных по периметру площадок строений.

В результате исследований:

- проверена степень идентичности модели рельефа, полученной на ЦФС, и модели рельефа, полученной в ГИС Карта 2005 (версия 9.15.3) и ERDAS IMAGINE VirtualGIS (версия 9.0);

- по результатам экспериментальных исследований предложенной технологии сделаны выводы: создаваемые на ЦФС по материалам аэросъемки ЦМР, ЦМО с учетом выполнения дополнительных данных при сборе могут использоваться для последующего получения измерительных трехмерных видеосцен в ГИС;

- намечены пути решения следующего этапа работ, связанного с анализом факторов, влияющих на точность измерительных трехмерных видеосцен.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р.О. Дуда, П.Е. Харт; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 511 с.

2. Важнейшие фундаментальные и прикладные проблемы геоинформатики [Текст] / И.А. Соколов и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 11. – С. 47–56.

3. Основные проблемы пространственного представления местности в цифровых картографических изделиях [Текст] / В.Н.Филатов и др. // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 35–38.

4. Городскому управлению Вены дано еще одно измерение [Текст] / По материалам ESRI // ArcREView. – 2008. – № 4 [47]. – С. 22–23.

5. Modelling of Urban Environments [Электронный ресурс] / Sandra Haydeé González García, Raúl Muñoz Salabarría, Alián Mayet Valdés, Dunia Suárez Ferreiro, Bernardino Deni Díaz Rodríguez // XXI Congress 3-11 July 2008, Beijing China. PROCEEDINGS Volume XXXVII, Part B5, TC V. pp. 707-710. 1 электр. опт. диск (DVD+R).



6. Хлебникова, Т.А. Технология построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ: проблемы и пути решения [Текст] / Т.А. Хлебникова // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 44–46.

7. Журкин, И.Г. Технология получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок [Текст] / И.Г. Журкин, Т.А. Хлебникова // Геодезия и картография. – 2009. – № 8. – С. 43–48.

8. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст]. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

9. Журкин, И.Г. Технология трехмерного моделирования городских территорий на основе ГИС [Текст] / И.Г. Журкин, М.А. Баклыков, С.В. Еруков // Материалы Междунар. научн.-техн. конф., посвящ. 225-летию МИИГАиК. Геоинформатика. – 2004. – С. 6–13.

Получено 10.06.2010

© Т.А. Хлебникова, Е.Н. Кулик, 2010