

ЦИФРОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЭРОФОТОСНИМКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ВИЗУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

С.А. Кадничанский (РОФДЗ)

В 1973 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания института работал в Госцентре «Природа», а затем учился в очной аспирантуре ЦНИИГАиК. После защиты кандидатской диссертации в 1979 г. работал в ЦНИИГАиК. С 1993 г. — заведующий отделом цифровых кадастровых технологий РосНИЦ «Земля» и Центра «ЛАРИС», с 2002 г. — начальник отдела новых технологий ФГУП «Госземкадастрсъёмка» — ВИСХАГИ и по совместительству профессор кафедры картографии ГУЗ, с 2005 г. — директор по научно-исследовательской работе компании «Геокосмос». С 2009 г. по настоящее время — главный технолог НП АГП «Меридиан+». Вице-президент РОО «Общество содействия развитию фотограмметрии и дистанционного зондирования».

Перспективная аэрофотосъёмка появилась одновременно с аэрофотосъёмкой. Первые в России аэрофотоснимки, полученные с воздушного шара в 1886 г. А.М. Кованько, были большей частью именно перспективными снимками г. Санкт-Петербурга. В начале XX века аэрофотосъёмка имела бурное развитие, особенно в военно-разведывательных целях, и в этом деле перспективные аэрофотоснимки играли важную роль. Позднее, снимки, сделанные при приблизительно вертикальном положении оптической оси камеры, заняли главенствующее место в топографическом производстве, и перспективная аэрофотосъёмка потеряла какую-либо значимую долю в огромной массе аэрофотосъёмочных работ, выполняемых с целью создания топографических карт. В последнее время в связи со стремительным развитием информационных технологий, геоинформационных систем (ГИС), цифровой аэрофотографии и цифровых методов обработки материалов аэрофотосъёмки перспективная аэрофо-

тосъёмка и использование перспективных снимков обретают новый смысл и большое значение в решении разных задач, хотя до сих пор не всеми оценены по достоинству.

Однако прежде чем мы рассмотрим особенности и преимущества перспективных аэрофотоснимков, было бы полезно уяснить смысл самого понятия перспективной аэрофотосъёмки. Стандартное определение, содержащееся в [1], таково: «перспективная (топографическая) аэрофотосъёмка — топографическая аэрофотосъёмка, выполняемая при угле отклонения оптической оси съёмочной камеры от вертикали, превышающем 3° ». Это определение представляется весьма формальным и не раскрывающим сущности. Оно явно опирается на требования действующего положения по аэрофотосъёмке [2], заключающиеся в том, что угол наклона аэрофотоснимка не должен превышать 3° . Выходит, что снимок, полученный при угле наклона $2,9^\circ$, еще не перспективный, а при $3,1^\circ$ — уже перспективный. В действительности ни-

какой «перспективности» одного из них по сравнению с другим выявить не представляется возможным. Еще хуже дело обстоит с другими определениями. Так, в энциклопедическом словаре [3]: «перспективная аэрофотосъёмка — фотографирование местности аэрофотоаппаратом, оптическая ось которого отклонена от вертикали на некоторый постоянный угол». Последнее определение, вообще, никак нельзя приспособить к пониманию сущности перспективной съёмки, так как важно не постоянство угла наклона, а его значение, которое при выполнении перспективной аэрофотосъёмки специально задается большим. Поэтому предложим такое определение понятия перспективной аэрофотосъёмки: «перспективная аэрофотосъёмка — аэрофотосъёмка, при которой проектируемый и фактический угол отклонения оптической оси камеры от вертикали имеет существенное значение». Каким именно должно быть это значение рассмотрим ниже.

Чем же перспективные аэрофотоснимки могут быть



Рис. 1

Фрагменты планового (а) и перспективного (б) аэрофотоснимков

интересны и полезны по сравнению с обычными плановыми аэрофотоснимками? Если мы обратимся к плановому снимку, представленному на рис. 1а, то столкнемся с очевидными трудностями в понимании характера объекта, изображенного на снимке. Совсем иное впечатление производит изображение этого объекта на перспективном снимке (рис. 1б). Без труда можно понять характер объекта и получить о нем гораздо больше информации. Можно ли по плановому снимку получить столь богатую информацию о зданиях,

изображенных на нем, как это предоставляет перспективный снимок? Таким образом, наиболее выигрышным является обзор под углом, так как легко узнаваемы такие возвышающиеся над поверхностью земли объекты, как здания, мосты, путепроводы и прочие сооружения, видны основания, стены и другие детали объектов. Это значит, что перспективные снимки предоставляют пользователю намного больше деталей, которые не различимы на обычном плановом аэрофотоснимке. На перспективном снимке мы не просто уз-

наем гораздо больше об объекте, но и понимаем его пространственный характер и отдельные детали, их трехмерные пространственные отношения.

Подводя итог, следует отметить основные преимущества перспективных снимков, а именно:

- объекты существенно легче распознаются;
- содержится намного больше информации об объектах;
- просто определяется характер пространственной (в трехмерном пространстве) протяженности и формы объектов;
- легко определяется пространственное (в трехмерном пространстве) взаимное расположение объектов и их частей.

По сравнению с плановым снимком перспективный предоставляет даже неискушенному пользователю возможность легко дешифровать изображение и ориентироваться по нему на местности, облегчая и ускоряя принятие решения при анализе визуальных пространственных данных.

Действительно, уверенно ориентироваться на местности по обычному снимку или фотоплану в большинстве случаев может только специалист. В этом легко можно убедиться, обратившись к рис. 2. Не менее проблематичным представляется использование визуальной пространственной информации в виде карты. В этом случае необходимо знать и уверенно «читать» условные знаки, которыми на карте обозначены искусственные и естественные объекты местности.

Перспективная аэрофотосъемка особенно эффективна, если объект фотографируется с разных ракурсов, как минимум с четырех, что позволяет рассмотреть его с разных сторон, как это показано на рис. 3.

Перечисленные достоинства весьма очевидны и не обусловлены современными техническими возможностями. Они всегда были присущи перспектив-



Рис. 2

Фрагменты планового (а) и перспективного (б) аэрофотоснимков городской территории

ным снимкам. Однако только с появлением цифровых фотокамер, обладающих достаточно высоким пространственным разрешением, и высокоточных бортовых средств определения пространственного положения и ориентации, а также в связи с бурно развивающимися компьютерными технологиями, стало возможным создавать информационные системы, эффективно использующие в качестве визуальных пространственных данных библиотеки геопривязанных перспективных снимков.

Одним из наиболее интересных примеров является технология, разработанная *Pictometry International Corp.* (США), которая включает в себя как все аспекты аэрофотосъемки, так и последующего создания действующей информационной системы на основе собственного программного решения. Эта система оперирует огромной библиотекой геопривязанных перспективных и плановых снимков, позволяя быстро подгружать снимки с интересующими объектами, определять координаты любой точки местности и выполнять некоторые измерения по этим снимкам. С 2001 г. компания приступила к систематизированной перспективной съемке территорий в США и выполнила съемку первых восьми административных округов. К 2004 г. количество заказчиков увеличилось до 125 и продолжает расти, включая как федеральные агентства, так и частные компании. В 2005 г. компания *BLOM*, главный офис которой находится в Осло (Норвегия), получила право на использование технологии *Pictometry* в Европе и в настоящее время осуществляет перспективную аэрофотосъемку всех городов Европы с численностью населения, превышающей 50 тыс. человек, что составляет приблизительно 825 населенных пунктов. Предполагается, что материалы этой аэрофотосъемки будут обновляться каждые 2 года. Это говорит о

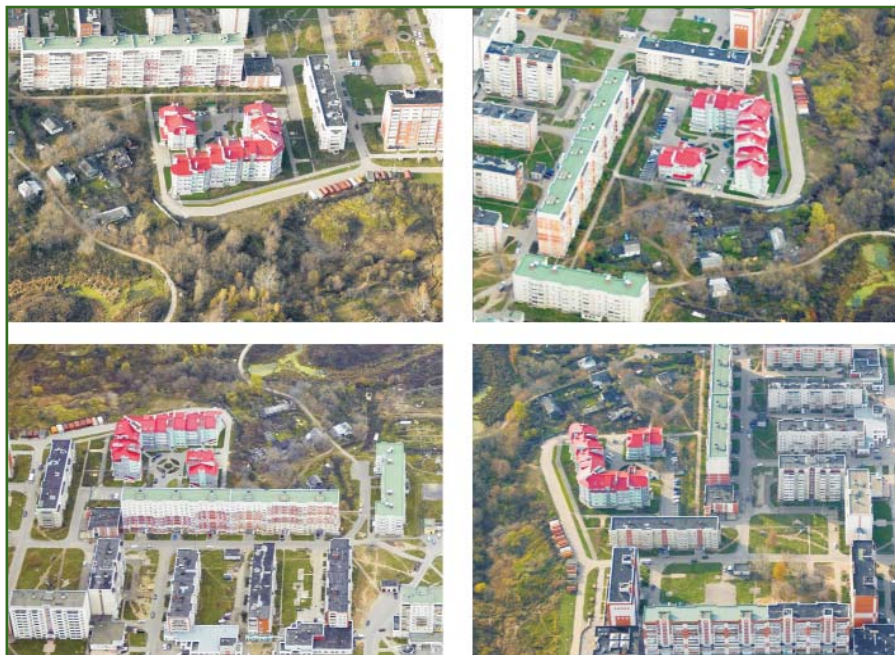


Рис. 3

Перспективная аэрофотосъемка городской территории, выполненная с четырех ракурсов

том, насколько серьезную позицию заняли перспективные аэрофотоснимки среди визуальных пространственных данных.

В каких же целях и приложениях используются материалы перспективной цифровой аэрофотосъемки и оперирующие ими информационные системы? Первоначально к таким информационным системам проявили интерес различного рода службы быстрого реагирования — скорая медицинская помощь, службы безопасности и спасения, а также пожарные. Это объясняется тем, что именно в этих приложениях очень важно быстро ориентироваться на незнакомой местности, определять положение объекта по визуальным пространственным данным, оценивать, при необходимости, обстановку и специфические свойства местности и объекта. Такие информационные системы являются дальнейшим развитием ГИС-проектов, создаваемых органами государственной власти и местного самоуправления различного уровня, а также крупными предприятиями, расположенными на больших территориях. Не останавливаясь

подробно на возможных областях их использования, отметим, что материалы перспективной аэрофотосъемки могут успешно применяться там, где требуется визуальный анализ геопривязанного изображения местности, и гораздо более эффективны, чем электронная карта или цифровой ортофотоплан. Так, например, компания *BLOM* в настоящее время для автомобильных навигаторов предлагает визуальную информационную систему на основе перспективных снимков взамен электронных карт.

При рассмотрении особенностей и параметров перспективной аэрофотосъемки в первую очередь встает вопрос: **каким должен быть угол наклона оптической оси камеры от вертикали ν ?** Совершенно очевидно, что он должен быть достаточно большим для того, чтобы во всех частях снимка у возвышающихся над поверхностью земли объектов были изображены их вертикальные поверхности. Для перспективной аэрофотосъемки характерно то, что при ориентации камеры, при которой одна из пар сторон рамки кадра па-

раллельна плоскости главного вертикала (плоскость **SNO** на рис. 4), прямоугольный кадр проецируется на горизонтальную плоскость в виде трапеции. Сторону рамки кадра, которой на проекции кадра соответствует ближняя к точке надира **N** сторона трапеции, будем называть ближней стороной рамки кадра и обозначим **a**, а противоположную — дальней стороной — **b**. Требование к углу наклона камеры можно сформулировать, исходя из условия: отношение масштаба изображения вертикального отрезка к масштабу изображения горизонтального отрезка должно быть не меньше некоторого заданного числа **K**. Приблизительно, но с достаточной точностью, это число равно отношению размера пикселя, спроецированного на вертикальную плоскость $P_v = P/\cos v'$, к размеру пикселя, спроецированного на горизонтальную плоскость $P_r = P/\sin v'$, т. е. $K = \sin v'/\cos v'$, где v' — угол наклона луча визирования от вертикали. Если потребовать, чтобы значение **K** для ближней стороны рамки кадра было не менее 0,5, то угол визирования для ближней стороны рамки кадра составит около 27°. Для камеры с углом поля зрения в плоскости главного вертикала

равным 25,2° необходимый угол наклона оптической оси (главного луча) камеры будет иметь значение 39,6°. Конечно, в зависимости от различных прочих условий и требований, угол наклона оптической оси камеры может иметь значения несколько отличные от этого, но важно то, что они, в любом случае, существенно отличаются от нуля.

Другим важным параметром перспективной аэрофотосъемки является пространственное разрешение снимков на местности. В отличие от плановой аэрофотосъемки, обладающей приблизительно одинаковым разрешением на местности по всему полю снимка, для перспективной съемки характерно существенное отличие пространственного разрешения для ближней и дальней сторон рамки кадра. При значении угла наклона оптической оси равном 40° и угла поля зрения в плоскости главного вертикала — 25,2° относительное различие пространственного разрешения для ближней и дальней сторон рамки кадра будет составлять приблизительно 1,5. Так, например, при съемке с высоты 1000 м камерой Rollei с фокусным расстоянием 82 мм и размером матрицы ПЗС 22 Мпикселя, при угле наклона оптической оси равном 40°, пространственное разрешение на местности для ближней стороны будет не хуже 12 см, а для дальней — 18 см. При использовании камеры с матрицей ПЗС 39 Мпикселя при прочих равных условиях пространственное разрешение на местности будет составлять 9 см и 14 см, соответственно, для ближней и дальней сторон. Такие значения представляются уже весьма приемлемыми для обеспечения достаточно детального отображения объектов местности. В любом случае выбор того или иного пространственного разрешения обусловлен решением заказчика перспективной аэрофотосъемки. Следует только иметь в виду ограничения по высоте полета

над населенными пунктами и возможности съемочной аппаратуры.

Современная перспективная аэрофотосъемка — это съемка территории при условии ее сплошного покрытия перспективными снимками с некоторыми продольным и поперечным перекрытиями. Причем, эти проектируемые перекрытия в зависимости от ориентации направления фотографирования относительно направления оси движения носителя могут быть постоянными или переменными по полю снимка.

Мы не ставим перед собой задачу в деталях рассмотреть все параметры перспективной аэрофотосъемки и последовательность ее планирования. Заметим лишь, что процесс проектирования перспективной съемки существенно сложнее, чем плановой, так как в нем одновременно должно учитываться большее число факторов. Задача осложняется еще и тем, что каждый объект должен быть снят не менее чем с четырех ракурсов.

Таким образом, при планировании перспективной аэрофотосъемки необходимо учитывать следующие условия и факторы:

- допустимую высоту полета;
- требуемое пространственное разрешение для ближней и дальней сторон рамки кадра;
- требуемые продольные и поперечные перекрытия для камер, имеющих различные направления фотографирования относительно направления полета, в зависимости от методов последующей фотограмметрической обработки;
- фокусное расстояние камеры;
- размеры матрицы ПЗС камеры и физический размер пикселя;
- ориентацию сторон матрицы камеры, если она прямоугольная;
- угол наклона оптической оси камеры;
- скорость полета;

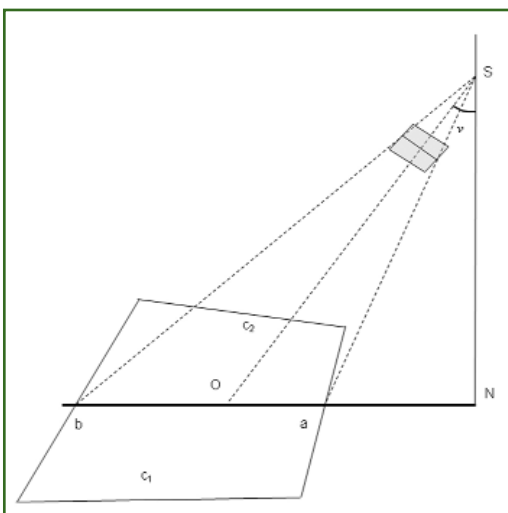


Рис. 4

Проекция рамки кадра на горизонтальную плоскость

— состав аппаратуры съемочного комплекса и синхронность (несинхронность) работы его отдельных компонентов.

Говоря о составе аппаратуры съемочного комплекса, следует иметь в виду разнообразие вариантов его комплектации и сочетание значений параметров различных измерительных устройств.

Перспективная съемка может выполняться одновременно с плановой съемкой и, при необходимости, одновременно с воздушным лазерным сканированием. При этом, как для плановой съемки, так и для перспективной аэросъемки могут использоваться среднеформатные аэрофотокамеры. Если для плановой съемки применяется полноформатная камера, то такая камера устанавливается отдельно. При проектировании необходимо учитывать синхронность или несинхронность съемки камерами для перспективной и плановой съемки, а также параметры конкретной аппаратуры.

В России современная технология перспективной аэрофотосъемки была впервые разработана компанией НПП «Геокосмос-ГИС». Она включает комплекс аппаратуры, методику планирования съемки и последующей фотограмметрической обработки перспективных снимков с помощью программного обеспечения (ПО) Aspectus, а также создание визуальной информационной системы, использующей перспективные снимки на основе этого ПО.

Для реализации этой технологии в 2006 г. на борту самолета Ан-30 был смонтирован съемочный комплекс, состоящий из полноформатной камеры UltraCamD для плановой съемки, двух камер среднего формата Rolleiflex для перспективной съемки и лазерной сканирующей системы ALTM 3100, позволяющей получать высококачественную цифровую модель рельефа. Камеры для перспективной съемки были установлены таким обра-

зом, что они «смотрели» в стороны от направления полета под углом 50° от вертикали.

В этом же году с использованием данного комплекса аппаратуры была впервые выполнена аэрофотосъемка г. Кстово и части г. Нижнего Новгорода. Высота фотографирования составляла около 800 м. При этом камеры для перспективной съемки обеспечивали пространственное разрешение 11 см для ближней стороны кадра, 20 см — для дальней и 14 см — для центра кадра. Размер пикселя на местности плановых аэрофотоснимков составлял 7,2 см. В результате обработки материалов аэросъемки были уточнены элементы внешнего ориентирования перспективных снимков, построена цифровая модель рельефа по данным лазерного сканирования и создан ортофотоплан по аэрофотоснимкам, полученным полноформатной камерой UltraCamD. Эти данные были загружены в информационную систему, предназначенную для работы с перспективными снимками.

Рассмотрим функциональные особенности ПО Aspectus, поскольку это весьма полезно для уяснения достоинств и возмож-

ностей перспективных аэрофотоснимков в совокупности с другими данными. Программа Aspectus в качестве исходных данных использует перспективные снимки с их элементами внешнего ориентирования и параметрами камер, цифровую модель рельефа и ортофотоплан территории.

Ортофотоплан служит для общего ориентирования, а также для выбора и указания точек интереса (объект, участок местности), которые требуются детально изучить по перспективным снимкам. Вместо ортофотоплана может использоваться отсканированная, ориентированная и привязанная топографическая карта местности.

Цифровая модель рельефа служит для обеспечения определения координат точек местности и выполнения измерений по перспективным снимкам. От ее точности и подробности зависит точность этих измерений.

Перспективные снимки — источник всесторонней и детальной информации об объектах местности, а также исходный материал для пространственных измерений. Кроме того, они используются для создания трехмерных моделей мест-

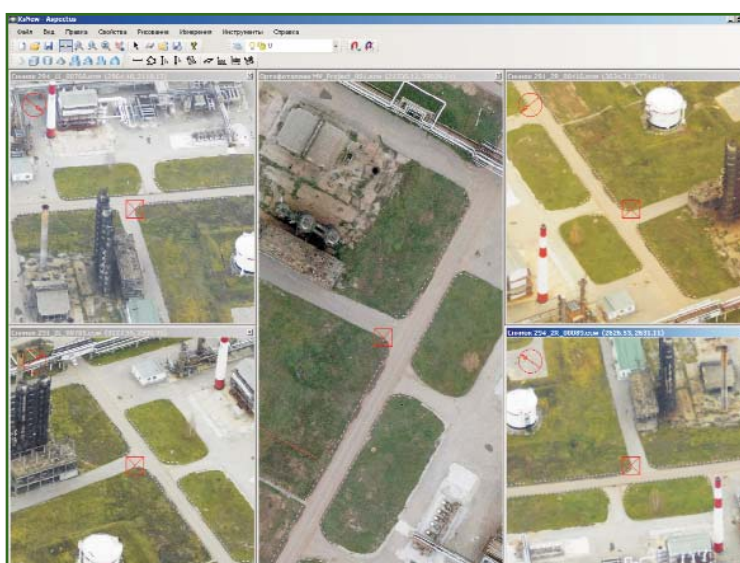


Рис. 5

Пример взаимной согласованности положения точки интереса (красный курсор) на ортофотоплане и на перспективных снимках

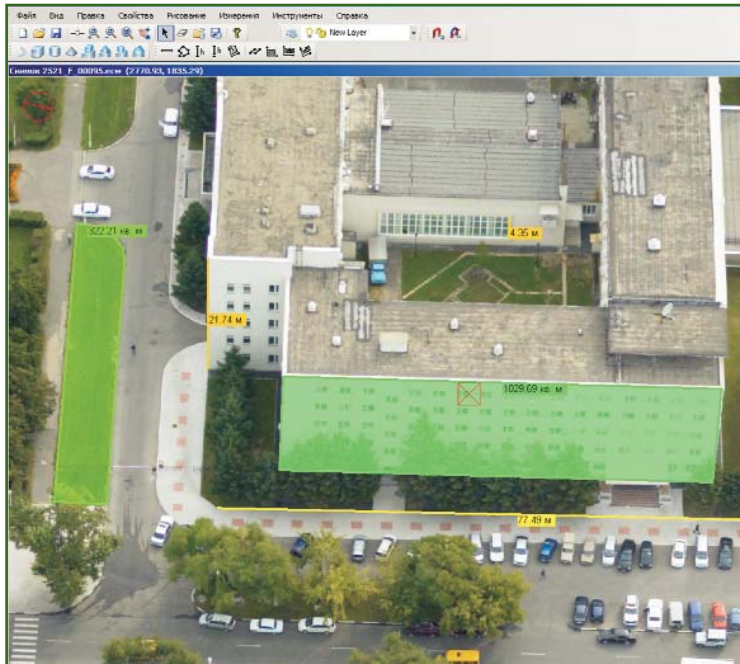


Рис. 6
Примеры измерений, выполняемых на перспективном снимке

ности с реалистичной фототекстурой.

Имеющееся в составе программы специальное средство уточнения элементов внешнего ориентирования снимков позволяет с максимальной точностью обеспечить привязку перспективных снимков по точкам, опознаваемым на ортофотоплане и перспективном снимке.

Программа работает следующим образом. При выборе на ортофотоплане или карте точки интереса в четырех окнах появятся изображения перспективных снимков (если перспективная съемка выполнялась с четырех ракурсов), наиболее оптимально отображающих точку интереса с разных сторон с изображением марки в точке интереса. Взаимная точность (согласованность) положения марки в точке интереса для ортофотоплана и каждого из перспективных снимков весьма велика, как это видно на рис. 5, и характеризуется средней квадратической ошибкой около 0,5 м при размере пикселя на местности в центре кадра порядка 0,15 м.

Выбор точки интереса может осуществляться как на ортофо-

топлане, так и на любом из перспективных снимков путем перемещения курсора. При этом в окне отображаются координаты точки местности, соответствующей его текущему положению, а также координаты точки интереса. Масштаб изображения перспективных снимков автоматически выставляется приблизительно равным масштабу изображения ортофотоплана. Любой из перспективных снимков можно плавно перемещать, при этом положение точки интереса будет изменяться относительно изображения. При достаточно продолжительном перемещении снимок автоматически и моментально (практически незаметно) заменяется другим снимком, наиболее оптимально отображающим текущую точку. Таким образом, наблюдатель ощущает непрерывность изображения перспективного снимка, в то время как в действительности происходит замена одного снимка другим. Масштабирование и перемещение курсора выполняется синхронно для всех перспективных снимков и ортофотоплана. ПО Aspectus располагает набором инструментов для выпол-

нения различных измерений по перспективным снимкам. На рис. 6 показаны примеры некоторых измерений, выполняемых на перспективном снимке.

Кроме того, с помощью этого ПО можно интерактивно легко и удобно создавать техмерные модели зданий и сооружений и текстурировать их фотоизображением с перспективных снимков.

Цифровые перспективные аэрофотоснимки могут успешно применяться во многих прикладных областях (создание карт, планов, ортофотопланов), но наиболее эффективны там, где требуется визуальный анализ и измерительная обработка пространственной информации, поскольку информационные системы, включающие перспективные снимки, существенно более просты в изготовлении и содержат не производную информацию об объекте, а полученную непосредственно в результате аэросъемки. Именно по этой причине перспективная аэросъемка стала завоевывать серьезные позиции по объему выполняемых работ в странах Европы и США, однако до сих пор не оценена по достоинству в России.

▼ Список литературы

1. ГОСТ Р 52 369–2005. Фототопография. Термины и определения.
2. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. ГКИНП-09-32–80. — М.: «Недра», 1982.
3. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров; ред. кол.: А.А. Гусев и др. — Изд. 4-е. — М.: Сов. энциклопедия, 1987. — 1600 с., ил.

RESUME

Peculiarities of planning and fulfilling the oblique digital aerial photoimaging are given. Capabilities together with the advantages are noted for the digital oblique imagery application to visualize spatial data about the terrain in the contemporary information systems.