

ИСТИННЫЙ ОРТОФОТОПЛАН ПО ПЛОТНОЙ ЦМП — ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ

Н.П. Акимова («Геоскан-ИТ»)

В настоящее время — инженер-фотограмметрист ООО «Геоскан-ИТ».

С.А. Кадничанский («Геоскан»)

В 1973 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». После окончания института работал в Госцентре «Природа», с 1979 г. — в ЦНИИГАиК, с 1993 г. — в РосНИЦ «Земля», Центре «ЛАРИС», с 2002 г. — в ФГУП «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ, с 2005 г. — в компании «Геокосмос», затем — в НП АГП «Меридиан+» и ФГУП «ГосНИИ авиационных систем», с 2015 г. — в ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». С 2018 г. работает в ООО «Геоскан», в настоящее время — заместитель директора по аэрофотогеодезии. Кандидат технических наук.

Ортофотоплан — очень востребованная продукция аэрофототопографической съемки, которая может служить картографической основой для различных геоинформационных систем, широко используется при создании и обновлении топографических карт и планов, в инженерно-геодезических изысканиях при строительстве различных объектов и в решении других задач.

Обычно ортофотоплан создается с использованием цифровой модели рельефа. По этой причине на нем может быть корректно представлено положение только объектов или их частей, которые расположены на одном уровне с земной поверхностью. Положения возвышающихся над земной поверхностью сооружений (эстакад, путепроводов и пр.), а также верхних частей зданий и сооружений имеют существенные смещения («завалы зданий»), что влечет за собой появление «мертвых зон», в которых земная поверхность закрыта перспективными изображениями зданий или сооружений. Раз-

номасштабность основания здания и крыши затрудняет выполнение измерений на ортофотоплане. Польза таких ортофотопланов для территорий с многоэтажной застройкой представляется сомнительной. Альтернативой им могут быть истинные ортофотопланы, в которых без смещений и без искажения масштаба отображено положение возвышающихся над земной поверхностью частей объектов. На рис. 1 и 2 показаны фрагменты ортофотоплана и истинного ортофотоплана.

Метод создания истинного ортофотоплана, основанный на ручной векторизации по стереофотограмметрической модели возвышающихся частей объектов, требует большого объема ручного труда, а, следовательно, затрат.

Возможности современного фотограмметрического программного обеспечения позволяют создавать истинный ортофотоплан с использованием сверхплотной цифровой модели поверхности (ЦМП). ЦМП представляет собой набор данных или файл, содержащий

множество точек с пространственными координатами (в определенной системе координат), лежащих на всех видимых с точек фотографирования поверхностях: поверхности земли, зданий, сооружений и пр. [1]. Плотность точек сверхплотной ЦМП соизмерима с номинальным пространственным разрешением аэрофотоснимка, используемого для создания ортофотоплана. Возможность создания истинного ортофотоплана по сверхплотной ЦМП отражена в разделе 9.2.27 национального стандарта [1].

Программа Agisoft Metashape Professional, используемая и предлагаемая ГК «Геоскан», позволяет создавать истинный ортофотоплан по сверхплотной ЦМП. Рассмотрим создание истинного ортофотоплана этим программным средством в аспектах качества результата, уровня автоматизации процессов создания ортофотоплана и факторов, влияющих на производительность.

Качество ортофотоплана в общем случае характеризуется его точностью, качеством мон-

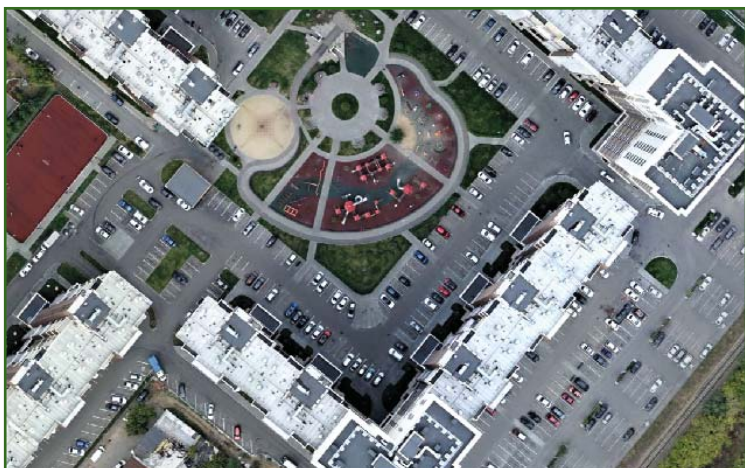


Рис. 1
Ортофотоплан

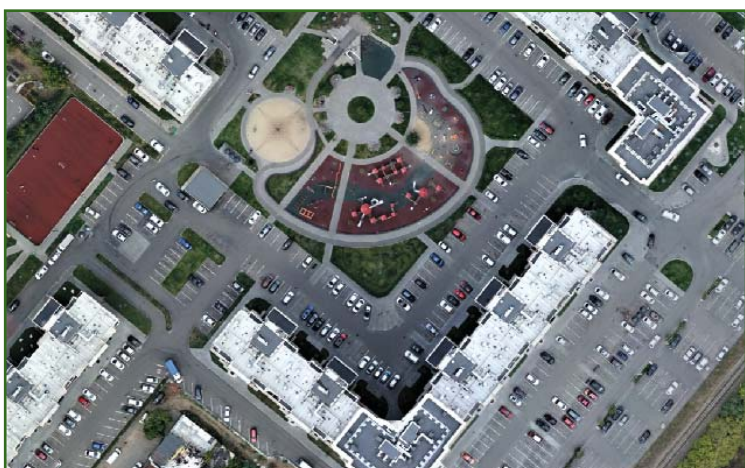


Рис. 2
Истинный ортофотоплан

тажа ортотрансформированных аэрофотоснимков по линиям пореза и качеством фотоизображения. Точность ортофотоплана оценивается как средняя погрешность (расхождение) планового положения контуров на контрольных точках. На истинном ортофотоплане для точек, лежащих на земной поверхности, эта погрешность не может быть хуже, чем для ортофотоплана, созданного по тем же снимкам и тем же значениям элементов внешнего и внутреннего ориентирования, так как для участков ортофотоплана, отображающих открытую земную поверхность, процесс ортотрансформирования абсолютно идентичен тому, как это

выполняется обычно при создании ортофотоплана. Эта погрешность соизмерима и близка значению номинального пространственного разрешения аэрофотоснимков. Однако для истинного ортофотоплана данная характеристика важна применительно к точкам, расположенным на возвышающихся над земной поверхностью частях зданий и сооружений, например, углах крыш зданий.

Точность планового положения контуров возвышающихся частей объектов и качество их изображения зависит от уровня качества ЦМП, который может быть выбран «очень низким», «низким», «средним», «высоким» и «очень высоким». ЦМП с

«высоким» и «очень высоким» уровнем качества могут быть использованы для получения более подробной и точной модели, но для их построения требуется больше времени. «Очень высокий» уровень качества означает обработку оригинальных снимков, каждое последующее снижение уровня качества предполагает предварительное уменьшение размера изображения в пикселях в два раза по каждой стороне кадра [2]. Точность положения контуров возвышающихся частей объектов и качество их изображения зависит также от параметров аэрофото съемки и ее характера, например, от использования плановых или перспективных снимков.

В табл. 1 показаны результаты оценки точности ортофотоплана по наземным контрольным точкам, а в табл. 2 — по контрольным точкам на возвышающихся над земной поверхностью частях зданий. В качестве таких точек использовались углы крыш зданий, координаты которых были получены в результате их опознавания и измерения на перекрывающихся аэрофотоснимках (не менее трех) и последующего вычисления прямой фотограмметрической засечкой по всем перекрывающимся снимкам, как показано на рис. 3. Параметры аэрофото съемки с помощью БВС Геоскан 201 Геодезия для снимков, использованных для создания ортофотоплана, представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 2, средние значения расхождений для всех вариантов съемки и уровней качества ЦМП удовлетворительны и близки между собой. На рис. 4–6 представлены фрагменты ортофотопланов, построенных по плановым и перспективным снимкам с использованием ЦМП с различными уровнями качества, по которым можно визуально оценить, как влияет качество ЦМП и вид



Рис. 3

Углы крыш зданий, по координатам которых выполнялась оценка точности планового положения кромок крыш на ортофотоплане

аэрофотосъемки на качество отображения крыш зданий на ортофотоплане.

На точность построения ЦМП также влияет качество снимков и свойства объектов съемки. Так, например, конструкции, построенные из блестящих и отражающих материалов, снятые в солнечную погоду, а также поверхности с однотонной текстурой или текстурой с регулярным рисунком могут быть представлены в ЦМП с искажениями, что впоследствии может привести к появлению дефектов

Оценка точности ортофотоплана по наземным контрольным точкам

Таблица 1

Вид съемки	Уровень качества ЦМП	Среднее расхождение в плане на контрольных точках, см	Максимальное расхождение в плане на контрольных точках, см	Количество точек
Перспективная	Очень высокий	6,6	8,7	5
	Высокий	6,7	8,7	5
	Средний	6,7	8,9	5
Плановая	Очень высокий	7,1	9,9	5
	Высокий	7,2	10,0	5
	Средний	7,3	10,1	5

Оценка точности ортофотоплана по контрольным точкам на возвышающихся над земной поверхностью частях зданий (углах крыш)

Таблица 2

Вид съемки	Уровень качества ЦМП	Среднее расхождение в плане на контрольных точках, см	Максимальное расхождение в плане на контрольных точках, см	Количество точек
Перспективная	Очень высокий	2,5	7,3	59
	Высокий	2,1	5,8	59
	Средний	2,8	8,2	59
Плановая	Очень высокий	1,4	4,3	59
	Высокий	2,1	6,0	59
	Средний	2,4	6,8	59

Параметры плановой и перспективной аэрофотосъемки

Таблица 3

Тип съемки	Перекрытие продольное, %	Перекрытие поперечное, %	Размер пикселя на местности, см	Перекрестные маршруты
Плановая	80	60	5	Нет
Перспективная, угол наклона 15°	80	50	4	Север-юг, запад-восток

**Рис. 4**

Фрагменты истинных ортофотопланов, построенных по плановым (слева) и перспективным (справа) снимкам. Уровень качества ЦМП «средний»

**Рис. 5**

Фрагменты истинных ортофотопланов, построенных по плановым (слева) и перспективным (справа) снимкам. Уровень качества ЦМП «высокий»

**Рис. 6**

Фрагменты истинных ортофотопланов, построенных по плановым (слева) и перспективным (справа) снимкам. Уровень качества ЦМП «очень высокий»

изображения, заключающихся в заметных закруглениях углов крыши и непрямолинейности кромок крыши. Для устранения недостатков ЦМП, влияющих на качество ортофотоплана, вы-

полняется визуальный анализ ортофотоплана, выявление участков с заметными дефектами и коррекция ЦМП, как показано на рис. 7–8. В зависимости от вида представления ЦМП при-

меняются разные способы коррекции. Для ЦМП в виде регулярной сетки используются инструменты редактирования, имеющиеся в ПО Agisoft Metashape Professional (сглаживание и создание линий излома). Если в качестве ЦМП используется трехмерная полигональная модель, как это показано на рис. 9–10, ее можно редактировать с помощью любого программного средства для трехмерного моделирования с использованием векторных объектов, полученных в проекте Metashape в результате векторизации углов крыш зданий в стереорежиме или монокулярных измерений по нескольким перекрывающимся снимкам.

Следует отметить, что при использовании плановых аэрофотоснимков и ЦМП с «высоким» уровнем качества для создания ортофотоплана масштаба 1:500 число зданий, требующих коррекции трехмерной модели крыш, составляет порядка 50 штук на 1 км² городской территории. Для перспективных аэрофотоснимков это количество меньше почти вдвое.

Монтаж истинного ортофотоплана принципиально отличается от монтажа ортофотоплана. При построении истинного ортофотоплана линии пореза проводятся так, чтобы область для построения линий порезов была разбита на многоугольники, исходя из близости к точкам надира снимков. Линии пореза могут пересекать изображения возвышающихся над земной поверхностью объектов, но при этом не дают визуально заметных расхождений контуров на линии пореза при использовании ЦМП, которая отражает формы всех объектов местности, включая те, что возвышаются над поверхностью земли. Поэтому контроль совмещений на линиях пореза при выполнении ортотрансформирования не

**Рис. 7**

Истинный ортофотоплан, уровень качества ЦМП «высокий»: перспективная съемка, ЦМП без коррекции (слева); плановая съемка, ЦМП без коррекции (в центре); плановая съемка, ЦМП после коррекции (справа)

**Рис. 8**

Истинный ортофотоплан, уровень качества ЦМП «очень высокий»: перспективная съемка, ЦМП без коррекции (слева); плановая съемка, ЦМП без коррекции (в центре); плановая съемка, ЦМП после коррекции (справа)

**Рис. 9**

Трехмерная полигональная модель в одностороннем режиме просмотра, уровень качества ЦМП «высокий»: перспективная съемка, ЦМП без коррекции (слева); плановая съемка, ЦМП без коррекции (в центре); плановая съемка, в полигональную модель, добавлена крыша, смоделированная в стороннем ПО (справа)

**Рис. 10**

Трехмерная полигональная модель в одностороннем режиме просмотра, уровень качества ЦМП «очень высокий»: перспективная съемка, ЦМП без коррекции (слева); плановая съемка, ЦМП без коррекции (в центре); плановая съемка, в полигональную модель, добавлена крыша, смоделированная в стороннем ПО (справа)

требуется. Линии пореза строятся автоматически в процессе выполнения процедуры построения ортофотоплана. На рис. 11 показаны линии пореза на истинном ортофотоплане. Изображение на рисунке позволяет визуально оценить качество совмещения соответствующих контуров на линиях пореза, а также качество взаимного выравнивания фототона (яркость, цветовой баланс) аэрофотоснимков и убедиться, что границы монтируемых частей разных аэрофотоснимков совершенно незаметны. Это является большим преимуществом истинного ортофотоплана, построенного по сверхплотной ЦМП, поскольку обычно при создании ортофотоплана затраты времени ручного труда на редактирование линий пореза и контроль совмещения контуров на линиях пореза довольно значительны.

Фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков при создании истинного ортофотоплана с использованием сверхплотной ЦМП состоит из следующих процессов, указанных в табл. 4. Затраты вычислительных ресурсов на совокупность всех процессов для создания истинного ортофотоплана на территорию площадью 1 км² (16 номенклатурных листов масштаба 1:500) представлены в табл. 5. Проекты Metashape обработаны в кластере ГК «Геоскан», время обработки по каждому процессу отображается как сумма времени, затраченного на обработку каждым узлом кластера. Затраты ручного труда показаны в табл. 6.

Оценка затрат времени ручного труда позволяет сделать следующий вывод. На более трудоемким представляется построение истинного ортофотоплана при использовании плановой съемки, а использование перспективной съемки позволяет сократить затраты на кор-



Рис. 11

Линии пореза, построенные автоматически на истинном ортофотоплане

Процессы фотограмметрической обработки и уровень их автоматизации

Таблица 4

Процесс	Уровень автоматизации
Построение и уравнивание фотограмметрической сети (фототриангуляция)	Полностью автоматизирован
Построение сверхплотной ЦМП, как правило, трехмерной полигональной модели	Полностью автоматизирован
Построение линий пореза	Полностью автоматизирован
Орtotрансформирование аэрофотоснимков с одновременным монтажом ортофотоплана	Полностью автоматизирован
Взаимное выравнивание фототона аэрофотоснимков (выполняется одновременно с орtotрансформированием и монтажом ортофотоплана)	Полностью автоматизирован
Контроль качества орtotрансформирования зданий и других высотных объектов	Визуально
Коррекция (редактирование) ЦМП	Измерение координат дополнительных точек вручную
Повторное орtotрансформирование и создание ортофотоплана по исправленной ЦМП	Полностью автоматизирован
Контроль точности ортофотоплана по контрольным точкам	Измерение координат контрольных точек вручную

Затраты машинного времени на создание истинного ортофотоплана масштаба 1:500 на территорию площадью 1 км²

Таблица 5

Вид съемки	Уровень качества ЦМП	Суммарное время на построение ЦМП и истинного ортофотоплана, ч
Перспективная	Очень высокий	50,5
	Высокий	14,4
	Средний	8,5
Плановая	Очень высокий	11,9
	Высокий	4,0
	Средний	2,5

Затраты времени ручного труда на создание истинного ортофотоплана масштаба 1:500 на территорию площадью 1 км²

Таблица 6

Процесс	Затраты времени одного исполнителя, ч (приближенное среднее)		
Контроль качества ортотрансформирования крыш зданий и других высотных объектов	1,0		
Коррекция (редактирование) ЦМП	Вид съемки	Уровень качества ЦМП	
	Перспективная	Очень высокий	1,9
		Высокий	4,6
		Средний	11,4
	Плановая	Очень высокий	8,4
		Высокий	10,3
Средний		21,2	
Контроль точности ортофотоплана по контрольным точкам	0,02		

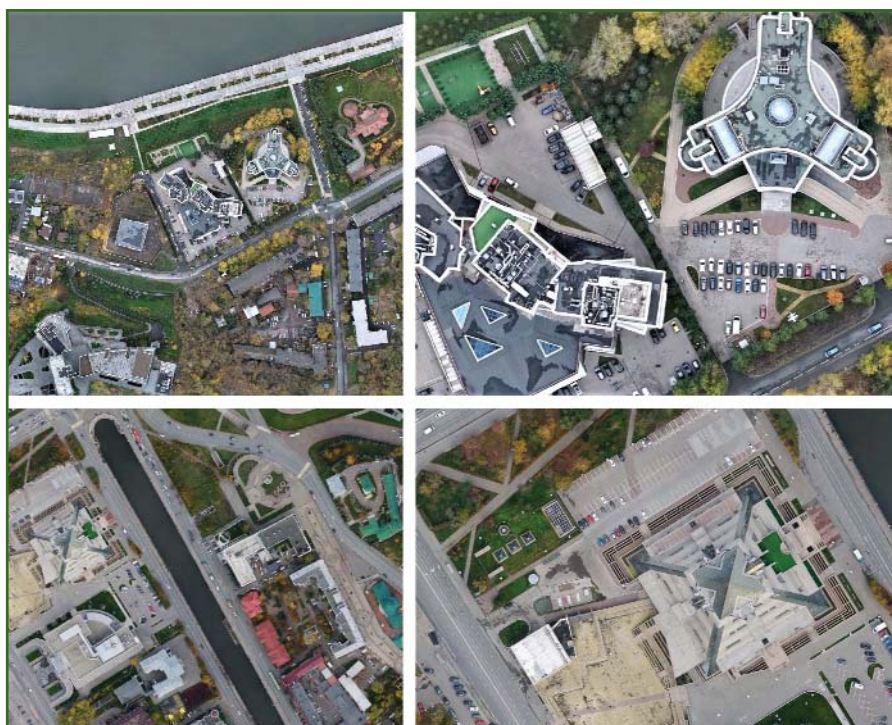


Рис. 12

Фрагменты истинных ортофотопланов. Перспективная съемка, уровень качества ЦМП «высокий»

рекцию ЦМП в два раза при использовании ЦМП с «высоким» уровнем качества и в четыре раза при использовании ЦМП с «очень высоким» уровнем качества. При выборе параметров построения ЦМП следует также учесть, что для построения ЦМП с «очень высоким» уровнем качества требуется

почти в четыре раза больше машинного времени по сравнению с ЦМП с «высоким» уровнем качества.

На рис. 12 представлены фрагменты истинных ортофотопланов, построенных по перспективной съемке и при использовании ЦМП с «высоким» уровнем качества.

Таким образом, истинный ортофотоплан, построенный по сверхплотной ЦМП, представляет собой принципиально новую продукцию, обладающую точностью ортофотоплана и рядом преимуществ по сравнению с ним:

- высокая точность положения контуров возвышающихся частей зданий и сооружений (соизмеримая с точностью их наземных частей);

- отсутствие «завалов» зданий и мертвых зон, что особенно важно для ортофотопланов городских территорий;

- отсутствие визуально заметных линий пореза и расхождений контуров на них;

- высокий уровень автоматизации процессов фотограмметрической обработки;

- возможность выбора уровня качества ЦМП в зависимости от требований к условиям аэрофотосъемки и требованиям к результату.

▼ Список литературы

1. ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэрофототопографическая. Технические требования.

2. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional. — https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf.