

Научная статья

УДК 528.7:004.383.4

EDN ZMAPGS

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0600-2-17-23>

Особенности построения цифровой модели рельефа с использованием материалов аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна

Леонид Васильевич Быков¹, кандидат технических наук, доцент

Андрей Александрович Дычко², аспирант

^{1, 2} Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина
Омская область, Омск, Россия, dychkoaa@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения методов интерполяции и экстраполяции при формировании цифровой модели рельефа местности. Дана оценка возможности применения данных методов в лесостепной зоне. Проведен анализ точности каждого метода.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, интерполяция, фотограмметрия, цифровая модель, экстраполяция

Для цитирования: Быков Л. В., Дычко А. А. Особенности построения цифровой модели рельефа с использованием материалов аэрофотосъемки с беспилотного воздушного судна // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 16–17 апреля 2025 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 17–23.

Original article

**Features of building a digital terrain model using
aerial photography from an unmanned aircraft**

Leonid V. Bykov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Andrey A. Dychko², Postgraduate Student

^{1, 2} Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin
Omsk region, Omsk, Russia, dychkoaa@yandex.ru

Abstract. The article considers the possibility of using interpolation and extrapolation methods in the formation of a digital terrain model. The assessment of the possibility of using these methods in the forest-steppe zone is given. The accuracy of each method is analyzed.

Keywords: unmanned aircraft, interpolation, photogrammetry, digital model, extrapolation

For citation: Bykov L. V., Dychko A. A. Features of building a digital terrain model using aerial photography from an unmanned aircraft. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 17–23), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Беспилотные воздушные судна (БВС) в рамках изысканий для проектирования различных сооружений нашли широкое применение [1]. Их популярность обусловлена высокой точностью материала, оперативностью получения данных и низкой себестоимостью готовой продукции [2].

Наряду с преимуществами, данная технология обладает рядом недостатков как в правовом [3], так и в техническом аспектах. Последнее особенно актуально для БВС, оснащенных только аэрофотокамерой и не оснащенных системой LiDAR (Light Detection and Ranging – «обнаружение и определение дальности с помощью света»). Проявляется это в невозможности аэрофотокамеры «заглянуть» под кроны высокоствольной растительности, и, как следствие, невозможности создания корректной цифровой модели рельефа (ЦМР).

Одним из этапов обработки аэрофотоснимков в фотограмметрическом программном обеспечении (ПО) является формирование плотного облака точек. При этом облако формируется только из тех точек, которые попали на фотоизображение. По данному облаку возможно построение корректной цифровой модели местности (ЦММ). При дальнейшей обработке средства ПО позволяют классифицировать точки, то есть разделить их на несколько групп с определенными свойствами: земля, высокая растительность, здания, автодороги и т. д. Для построения корректной ЦМР требуются только точки, отнесенные к слою «Земля» (рис. 1).

Соответственно остальные точки программно отключаются и в этих местах остаются участки, которые не содержат никакой информации. При формировании ЦМР такие участки могут заполняться встроенными алгоритмами

ПО, но из-за несовершенства классификации, наличия «шумов» и «артефактов» такое заполнение зачастую содержит ошибки [4]. Встречаются отклонения от истинных высот до 10 и более метров.

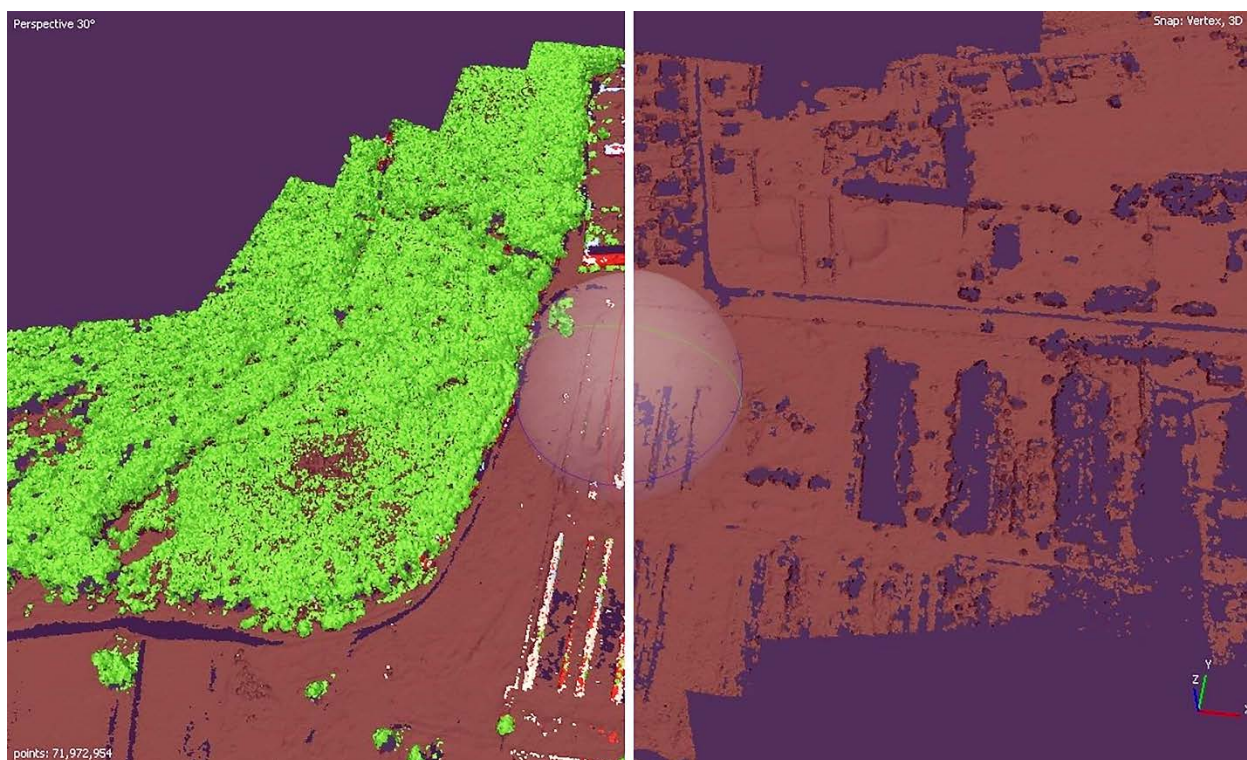


Рисунок 1 – Классифицированное облако с полным набором точек (в левой части) и оно же только с точками слоя «Земля» (в правой части)

По нашему мнению, в равнинных районах, характерных для лесостепной зоны, допустимо применение методов интерполяции и экстраполяции для заполнения пустых областей облака точек и дальнейшего формирования корректной ЦМР. В практике топографо-геодезических работ под интерполяцией и экстраполяцией, как правило, понимаются линейные виды данных методов, где искомая точка вычисляется по двум известным. При этом все три точки оказываются на одной линии.

Число точек с известными планово-высотными координатами в фотограмметрическом облаке достаточно велико и значительно превышает число точек, которые обычно содержатся на топографических планах при классической наземной съемке. Для того чтобы воспользоваться избыточным числом

точек облака и повысить точность предлагаемых методов, интерполяция и экстраполяция применялись не линейно, а с помощью построения поверхностей. На облаке точек были сформированы прямоугольные участки вдоль проектируемой оси. Точки облака, попадающие в каждый участок, образуют поверхность, которую можно описать формулой (1):

$$Z = A_0 + A_1X + A_2Y \quad (1)$$

где X , Y , Z – известные координаты точек, образующих поверхность;

A_0 – свободный член;

A_1 и A_2 – коэффициенты, которые показывают, как изменения в X и Y влияют на значение Z .

Зная вычисленные коэффициенты A_0 , A_1 , A_2 , можно вычислить вероятную высоту любой точки заданной поверхности, используя ее плановые координаты. Применяя данный метод, можно заполнить «пустоты» в облаке точек и сформировать ЦМР.

Для оценки точности высоты вычисленных значений использовались контрольные точки. Они набирались непосредственно при полевых работах с использованием электронного тахеометра и спутникового оборудования в режиме RTK (Real Time Kinematic – «кинематика в реальном времени»). Набор точек производился с заданным интервалом 15–20 метров (так называемыми «поперечниками», перпендикулярно к оси проектируемого сооружения). Расстояние между соседними поперечниками составило от 80 до 110 метров.

Интерполированными считались точки, находящиеся условно в плановом положении ближе к центру полигона, а по краям обрабатываемого полигона отсутствовала высокоствольная растительность и были точки класса «Земля» в достаточном количестве для решения уравнения (1). Экстраполированными считались точки, находящиеся ближе к краям полигона (при наличии там высокоствольной растительности); при этом центр полигона и (или) противоположный край должны были содержать достаточное число точек для решения уравнения (1).

Всего было обработано 88 точек на участке протяженностью 6 км. Распределение между количеством интерполированных и экстраполированных точек – 1:1. Среднее отклонение вычисленных точек от контрольных в зависимости от метода составило 0,26 м для интерполированных и 0,33 м для экстраполированных.

Абсолютные значения (в метрах) были распределены по возрастанию и разделены на две группы в зависимости от метода вычисления (рис. 2).

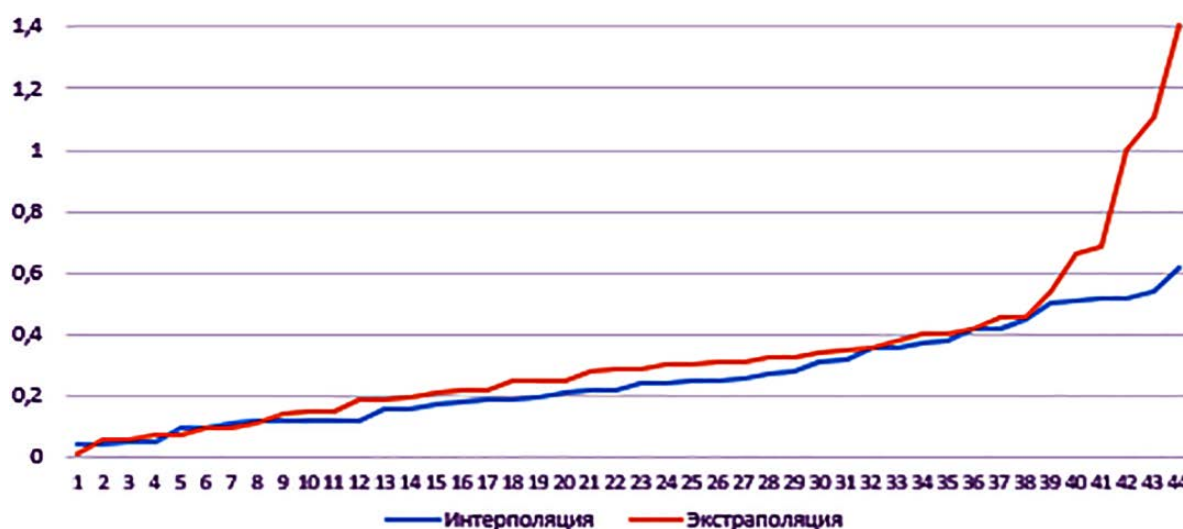


Рисунок 2 – Сравнение значений отклонений высоты в зависимости от метода нахождения координаты Z

Согласно п. 5.1.19 Свода правил СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», средние погрешности съемки рельефа и его изображения на инженерно-топографических планах и инженерных цифровых моделях местности относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа: 1/4 – при углах наклона поверхности до 2 град.; а для залесенных (закрытых) участков местности данные значения можно увеличивать в 1,5 раза.

Согласно приказу Минэкономразвития России от 06.06.2017 № 271, утверждающему требования к государственным топографическим картам и

государственным топографическим планам, для равнинной местности с уклоном от 2 град. в залесенных районах основная высота сечения рельефа для плана масштаба 1:2 000 принимается равной одному метру (по специальному требованию 0,5 м).

Допустимая средняя погрешность съемки рельефа будет составлять:

$$\Delta Z_{\text{доп}} = 1 \cdot \frac{1}{4} \cdot 1,5 \approx 0,38 \text{ м}$$

Заключение. *Полученные ранее средние погрешности (для обоих методов) удовлетворяют требованиям СП 47.13330.2016 для создания топографического плана масштаба 1:2 000 с высотой сечения рельефа 1 м. Нами предполагается, что необходимо формировать подобные полигоны таким образом, чтобы максимально избегать участков, где будет применяться экстраполяция. Это связано с тем, что данный метод показывает меньшую точность как при вычислении средних значений, так и при оценке абсолютных разностей между вычисленными высотами и точками контрольной группы.*

Список источников

1. Бабашкин Н. М., Нехин С. С. Топографическая аэросъемка. Современное состояние и перспективы развития // Геодезия и картография. 2015. № 7. С. 36–41.
2. Турк Г. Г., Карачев Н. К. Использование беспилотных летательных аппаратов в геодезии // Вектор ГеоНаук. 2023. № 2.
3. Зазулин В. А., Чернов А. В., Ершов А. В. Особенности использования беспилотных летательных аппаратов при выполнении кадастровых работ на территории Новосибирской области // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. № 1.
4. Кочуров Б. И., Карандеев А. Ю., Мерекалова К. А. Выделение древесной растительности с помощью беспилотных летательных аппаратов для оценки зеленой инфраструктуры городских ландшафтов // Проблемы региональной экологии. 2021. № 5. С. 42–47.

References

1. Babashkin N. M., Nehin S. S. Topographic aerial survey. Current state and development prospects. *Geodeziya i kartografiya*, 2015;7:36–41 (in Russ.).

2. Turk G. G., Karachev N. K. The use of unmanned aerial vehicles in geodesy. *Vektor GeoNauk*, 2023;2 (in Russ.).

3. Zazulin V. A., Chernov A. V., Ershov A. V. Features of the use of unmanned aerial vehicles in carrying out cadastral work in the Novosibirsk region. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2022;1 (in Russ.).

4. Kochurov B. I., Karandeev A. Yu., Merekalova K. A. Identification of woody vegetation using unmanned aerial vehicles to assess the green infrastructure of urban landscapes. *Problemy regional'noi ekologii*, 2021;5:42–47 (in Russ.).

© Быков Л. В., Дычко А. А., 2025

Статья поступила в редакцию 04.04.2025; одобрена после рецензирования 12.05.2025; принята к публикации 03.06.2025.

The article was submitted 04.04.2025; approved after reviewing 12.05.2025; accepted for publication 03.06.2025.