

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2021 Issue: 04 Volume: 96

Published: 30.04.2021 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Zharas Zhetybaevich Ainakulov
Al-Farabi Kazakh National University
Doctoral student, Kazakhstan, Almaty

Gulzhan Estanovna Kurmankulova
Kazakh National Agrarian University
Associated professor, Candidate of Pedagogical Sciences,
Kazakhstan, Almaty

Ardana Gabidollakzy Zhumakozhaeva
Kazakh National Agrarian University
master's student, Kazakhstan, Almaty

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF VISUAL DATA MODELS FROM UAV

Abstract: This paper discusses the problems of using accurate mapping systems in mining enterprises, archaeological works, the possibility of a multi-rotor UAV (Unmanned Aerial Vehicle), the features of creating a 3D model of the object, the characteristics of the system, and also answers to some questions that arise when calculating the volumes of dumps (pits), the minimum pixel size (GSD) has been defined. In the process of modeling, software products such as Orthophoto Image and Digital Elevation Model (DEM) were used, which provide geometric accuracy up to 3 pixels, the required production time is 8-10 hours per day. As a result, a visual interpretation of complex objects was obtained, the structure of the object under study, the density of the location of control points were determined, and a terrain model was created with an accuracy of 3-6 pixels or 0.5-2.5 m.

Key words: remote sensing, UAV, multicopter, orthomosaic, antenna platform, relief, digital photogrammetry, complex object, model, dump, pit, topography, pixel.

Language: Russian

Citation: Ainakulov, Z. Z., Kurmankulova, G. E., & Zhumakozhaeva, A. G. (2021). Development and implementation of visual data models from UAV. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 04 (96), 429-438.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-04-96-86> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2021.06.96.86>

Scopus ASCC: 1700.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ С БПЛА

Аннотация: В данной работе рассмотрены проблемы использования точных систем картографирования в горнорудных предприятиях, археологических работах, возможности мультироторного БПЛА (Беспилотный летящий аппарат), особенности создания 3D модели объекта, характеристики системы, а также получены ответы на некоторые вопросы, возникающие при расчете объемов отвалов (котлованов), определен минимальный размер пикселя (GSD). В процессе моделирования использованы программные продукты, такие как, Orthophoto Image и Digital Elevation Model (DEM), которые обеспечивают геометрическую точность до 3 пикселей, затрачиваемое время производства составляет 8-10 часов в день. В результате получена визуальная интерпретация сложных объектов, определена структура исследуемого объекта, плотность расположения опорных точек и создана модель рельефа местности с точностью 3-6 пикселей или 0,5-2,5 м.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Ключевые слова: дистанционное зондирование, БПЛА, мультикоптер, ортофотоплан, антенная платформа, рельеф, цифровая фотограмметрия, сложный объект, модель, отвал, котлован, топография, пиксель.

Введение

Картографическая аэрофотосъемка предполагает наличие специально оборудованного летательного аппарата – самолета, вертолета, беспилотного летательного аппарата. Кроме того, аэрофотоснимки обрабатываются цифровой фотограмметрической техникой для производства фотоснимков, которые являются ортофотомозаикой и облаком точек цифровой модели рельефа. Персональная команда для запуска системы состоит из одного пилота, который управляет воздушной платформой, пилотной навигационной системой, которая контролирует план полета и GPS [1, с.44].

Возможности современных БПЛА-комплексов (фотоаппаратура, системы навигации, управления и связи), которые обеспечивают более высокую разрешающую способность (5 см на точку), а также минимальную зависимость от погодных условий, которые имеют большую оперативность получения результата по сравнению со спутниковой съемкой.

Главное в отличие от самолетов, мультикоптер можно запускать и на малых высотах, например, 20-100 метров, для самолетного беспилотного летательного аппарата (БПЛА) выполнение таких полетов очень проблематично, если необходимо получить аэрофотоснимки с сантиметровым разрешением.

Мультироторный БПЛА в отличии от самолетного может летать не только сверху, но и облетать необходимый объект, (например церковь) по кругу. Что дает возможность получать 3D модель объекта и это будет дешевле, чем использование лазерного сканера. Система должна иметь такие характеристики, как минимальный размер пикселя (GSD), менее 20 см, переносной и простой в эксплуатации аппарат, который может производить стереозвук и хорошую точность на уровне субметра.

Моделирование 3D модели объектов рельефа местности на базе аэрофотосъемок с БПЛА

Для создания 3D модели местности, выбраны следующие системы Orthophoto Image и Digital

Elevation Model (DEM). Средняя геометрическая точность получаемая в результате до 3 пикселей или эквивалент субметровой точности, в том числе, время производства может быть достигнуто более 8-10 часов в день. Изображение Orthophoto может обеспечить визуальную интерпретацию, такую как структура отдельных объектов, плотность расположения и рельеф местности с точностью 3-6 пикселей или 0,5-2,5 м. В зависимости от полезной нагрузки (камера видимого диапазона), можно решать разные задачи, основными из которых будут:

- 1) ортофотоплан местности;
- 2) цифровая модель рельефа (ЦМР).

БПЛА-комплексы состоят из антенных платформ с цифровой камерой и R/C, точек и стрелок цифровых камер, а также из результатов обработки данных с использованием методов цифровой фотограмметрии, таких как структура алгоритмов движения и открытый источник-ГИС для визуализации. Эта система имеет возможность производить изображения с пространственным разрешением <10 см, которая дает возможность измерить площадь участка, оценивать отдельные объекты, таких как курганы, отвалы или котлованы, а также топографию и рельеф исследуемых территорий.

В данной работе описывается автономное аэрофотосъемочное устройство, предназначенное для установки на любой управляемый летательный аппарат способный выдерживать запланированный маршрут полета (Рис.1). Подобные устройства разрабатываются и российскими компаниями [2, с. 45].

В состав аэросъемочного комплекса входят: Фотоаппарат; Одноплатный компьютер Raspberri Pi3; GPS; Монитор.

Фотоаппарат и одноплатный компьютер Raspberri Pi3 имеют отдельный корпус, который располагается так, чтобы объектив фотоаппарата был направлен на землю [3].

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

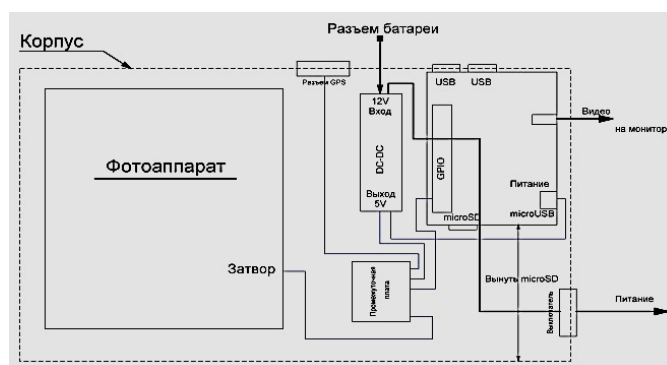


Рисунок 1 - Блок-схема автономного аэрофотосъемочного устройства

Планирование маршрута полета производится на стационарном компьютере. Результатом планирования являются векторные линии маршрутов аэросъемки, расположение которых зависит от высоты полета.

Интервал срабатывания затвора, обеспечивает необходимое перекрытие снимков вдоль линии полета. В составе устройства имеется также промежуточная плата, обеспечивающая согласование сигналов GPS-приемника и фотоаппарата с входами компьютера Raspberry Pi3.

Одноплатный компьютер Raspberry Pi3, с установленной операционной системой Raspbian, выполняет следующие задачи:

- формирует управляющий сигнал на затвор фотоаппарата через заданные интервалы времени;
- отображает запланированные линии полета и текущее положение летательного аппарата на экране монитора;
- записывает координаты центров кадров в момент срабатывания затвора на SD карту в формате *.txt.

Все компоненты аэросъемочного комплекса подпитываются от бортовой сети летательного аппарата или от батареи.

Экран монитора располагается перед пилотом летательного аппарата. Во время полета пилот видит свое текущее положение и запланированные линии полета. В его задачу входит выдерживание заданного курса и высоты полета.

GPS устанавливается в месте, обеспечивающем уверенный прием сигналов спутников.

Одноплатный компьютер Raspberry Pi3 имеет в своем составе разъем GPIO (General Purpose Input Output) - низкоуровневый интерфейс ввода-вывода прямого управления, к контактам которого можно подключать различные внешние устройства. В нашем случае такими внешними устройствами являются фотоаппарат и приемник GPS (Рис.2).

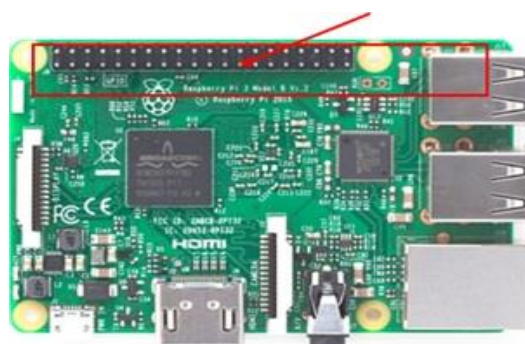


Рисунок 2 - Одноплатный компьютер Raspberry Pi3

Аэрофотосъемки, выполненные с помощью БПЛА-комплексов, обрабатываются системами Orthophoto Image и Digital Elevation Model (DEM). Средняя геометрическая точность до 3 пикселей может быть достигнута в результате обработки данных, в том числе, время производства может быть более 8-10 часов в день. Изображение Orthophoto может обеспечить визуальную

интерпретацию, такую как структура поверхности объектов, плотность расположения и рельеф местности с точностью 3-6 пикселей (или 0,5-2,5 м).

Пробный полет выполнялся над территорией базирования летательных аппаратов на высоте 100 метров. На рисунке 3 приведен один из кадров, где опорные точки выделены белым.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350



Рисунок 3- Фото с высоты 100 метров

Всего было выполнено более 200 кадров по которым был построен ортофотоплан сфотографированной части местности. На рисунке 4 позиции опорных точек указаны красным, а контрольные точки выделены желтым цветом, где 01; 02; 03; 04; 05; 06; 07 – это опорные точки. (Рис.4).

Таким образом, можно заключить, что автономный аэросъемочный блок пригоден для выполнения картографической аэросъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или с легкомоторных летательных аппаратов.

2. Моделирование, оценка и прогноз состояния объектов со сложным рельефом

В течение последних десяти лет выполнен ряд исследований, в которых использована платформа беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), с картографической системой при создании крупномасштабных карт (>1/10.000). Многие из них построены на фотограмметрии, а также с использованием аэрофотоснимков, полученных в результате дистанционного зондирования.



Рисунок 4- Позиции опорных точек

Использована обычная техника аэрофотосъемки с БПЛА, а также применение бортовой платформы для переноски цифровых

камер (в качестве датчика изображения), для получения аэрофотоснимков местности, которое было организовано планом полета.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Система состоит из нескольких модулей, а именно: воздушного транспорта, датчика изображения и его монтажа, обработки данных и визуализация результатов, наземная станция управления и база данных.

В системах используется плоскость R/C с общим весом <2,8 кг. Платформа UAV относительно легка, что делает ее легко уносимым ветром и воздушной турбулентностью и затрудняет выполнение плана полета. Навигационная авионика система состоит из GPS-навигации 10 Гц, дистанционного управления и телеметрии R/F (радиочастоты). Телеметрия R/F передает данные наземной станции по данным телеметрии и GPS. В некоторых типах воздушных транспортных средств, которые меньше стабильной платформе, требуется параллельный пилот для стабилизации и выравнивания плоскости автоматически (автоматическое выравнивание). Для аэрофотосъемки при дистанционном зондировании требуется камера, способная работать на основе времени или с управляемым затвором. Можно использовать программу сценариев на камере NEX-5N(19mm), чтобы временная задержка между экспозициями могли быть установленными [5].

Использование карманной камеры с небольшим размером оптического электрического датчика (CCD) создает зону покрытия фоторамкой более узкой, поэтому в результате выполненных аэрофотоснимков, их обрабатываемое количество может быть большим. Необходима автоматизация в процессе выполнения снимков и для обработки большого количества этих фотоснимков. Кроме того, вектор данных (линейная карта), полученная стерео сопоставлением данных заменяется DEM производством и целями коррекции ортотрансформирования [6].

3. Обследование и постобработка. Основной инструмент состоит из нескольких модулей, а именно БПЛА, оборудованный авионикой-автопилотом, датчиком изображения (размер кармана камеры) и системы подставки, наземной станции управления и комплекса программного обеспечения фотограмметрической обработки из алгоритма движения [7].

В основном, принцип работы системы отображения, использующий платформу БПЛА, такой же, как и в обычных аэрологических картографических процедурах, где основными отличиями являются использование переносной и меньшей модели БПЛА. В системе на базе БПЛА использованы инструменты для массового пользования, чтобы эти инструменты отвечали потребностям профессионального качества, необходимо специальные устройства, которые служат для усовершенствования и увеличения качества, а также для обеспечения точности и снижения ошибок съемок, соответствующие

стандартам качества. Способы по повышению качества использования БПЛА:

1. Одним из основных источников ошибок является использование неметрических камер. Работа с неметрическими камерами создает ряд вопросов, связанных с точностью, а именно: качество неметрического объектива и стабильность линзы. Это систематическая ошибка, поэтому вопрос точности решается процедурой In-Flight метод самокалибровки. Калибровка в полете может уменьшить точность настройки менее 2 пикселей [8, с. 4044].

2. Платформа БПЛА имеет вес менее 3 кг. Итак, когда погода ветреная >40 км/ч, будет трудно следовать за планированием полета. Чтобы компенсировать эту слабость, расширение области перекрытия до 85% и может быть сделано 25% бокового круга, поэтому в зоне охвата нет пробелов. Это условие приведет к росту количества фотографий (более 500 фоторамки на 300 га). Как следствие, обработка автоматизации необходимого для обработки процесса сшивки фотографии.

3. Количество изображений и большая область перекрытия (85%) дает возможность при создании цифровой модели рельефов сложной структуры упростить процесс автоматизации и улучшить геометрическое качество конечного продукта. Процесс автоматизации в антенной триангуляции с согласованием алгоритма изображений становится более надежным результатом из-за более высокой корреляции между соседними фоторамками.

4. В целом качество горизонтального положения может достигать 2-кратного размера GSD или в диапазоне 10 см - 40 см в зависимости от текущего значения GSD аэрофотоснимка. Между тем, вертикальная точность может достигать 3-х кратное GSD или в диапазоне 50 см - 2,5 м.

5. Основной проблемой, которая является ограничением техники аэросъемки, является то, что объект не может быть замечен другими более высокими объектами. В целом, высокие объекты создают определенные помехи, при облете с заданной траекторией на снимаемых участках объекта.

6. В ряде случаев, которые требуют топографического продукта или цифровой 3D модели рельефа, продукт исследования из воздуха не всегда может видеть объекты на земле. В этих условиях необходимо уменьшить данные, т.е. процесс фильтрации цифровых моделей поверхности в рельефные данные (рисунок 6). Процесс фильтрации не может гарантировать конечную точность, поскольку объект не отображается на земле или не может быть измерен напрямую [9, с. 54].

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Хорошая точность информации в процессе управления аэрофотоснимками позволяют осуществить мгновенный мониторинг состояния рельефа (например, в каждую неделю или каждые несколько метров).

Отображение топографии рельефа местности и границ, а также анализ рельефа и объемный расчет сложного объекта, элементов рельефа, необходимы для точного измерения параметров, таких как высота, диаметр и наклон местности [10, с. 5]. На рисунке 5 показаны исходные точки облета, которые выделены, синим цветом. Эти опорные точки указывают на позиции срабатывания защелки камеры, где четко выделены позиции камер и перекрытие изображений [11, с. 6].

Стабильные модели в основном используются для моделирования плоской местности, опорные точки модели могут иметь

вид квадратов из сеток или равносторонних треугольников [6, с. 7]. Такие модели включают трехмерное планирование поселений, рудников, аэродромов, мелиорационных установок и т.д. Надежные модели обеспечивают высокую рельефность только при высокой плотности рельефа. Простота обнаружения опорных точек модели с автоматическим определением интервалов, осуществляется с использованием специальных инструментов (цифровое сканирование и координатное сканирование), что делает обычные модели очень перспективными. Рельефное моделирование поверхности осуществляется с помощью уравнений второго или третьего порядка, а высота точек определяется нелинейной интерполяцией [12, с.310].

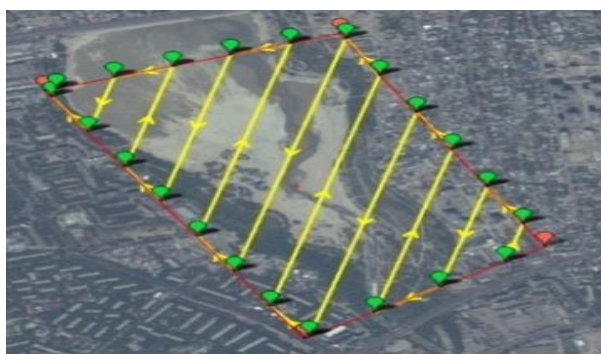


Рисунок 5- Позиции срабатывания защелки камеры и перекрытие изображений

Для выполнения аэрофотоснимков использована камера NEX-5N (19 mm), с разрешением 4912x3264, с фокусным расстоянием 19 мм (Табл.1).

Исходные данные:

Всего изображений: 91; Высота полёта: 61 м;

Разрешение съёмки: 1.44 см/пикс; Площадь покрытия: 0.0443 км²;

Позиций съёмки: 91; Связующих точек: 101,193;

Проекций: 291,265; Ошибка: 1.56 пикс.

Частичные модели разных типов нашли применение в автоматизированном проектировании сетевых объектов. В этом случае модель часто строится как магистраль с системой поперечных линий (рис.6). Интервал между диаметрами выбирается постоянным, точки в диаметрах располагаются на характерных перегибах местности. Плановые координаты осевых точек поперечников находят по пикетажу магистрали и дирекционным углом сторон, а приращения координат точек на поперечниках вычисляют по измеренным расстояниям от оси

магистрали и дирекционным углом поперечников [13, с. 245; 14, с. 977].

Интерполирование высот по поперечникам производят по линейному закону, а между поперечниками – по принятой аппроксимирующей поверхности. При создании больших топографических карт и планов выгодно создавать цифровую модель рельефа местности, которая представляет собой набор горизонтально установленных точек вдоль магистрали и времени записи этих точек при горизонтальном перемещении цифрового источника (рис.6). Такой массив исходных точек позволяет прикрепить рельеф к высокоточным стереофонограмметрическим устройствам, автоматически записывая координаты [53, с. 75].

Цифровая модель местности, получена в результате сшивки изображений, где области перекрытия составляют 80%. Относительное положение фотографий представлено на рисунке 6. Облако точек полученные в результате обработки аэрофотосъемок могут быть использованы для построения точной модели рельефа сложного объекта, а также для анализа

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

любых событий или изменений происходящих в данной местности.

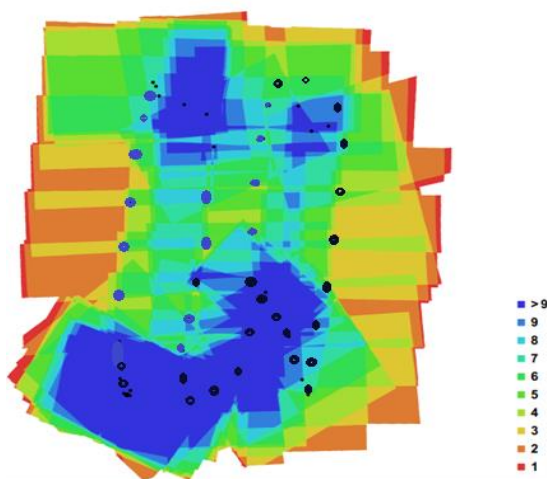


Рисунок 6 - Векторная модель местности

Фаза производства для интерпретации и оцифровки - это «узкое место» во всем производственном процессе, потому что она все еще использует ручное управление [13]. В целом дистанционное зондирование на базе БПЛА может записывать изображения с величинами GSD 5 см - 20 см при высоте полета около 160 м - 400 м. В данном случае значения GSD <15 см являются достаточными для того, чтобы четко отображать рельеф местности или границу объекта (отвала).

Созданная модель сложного объекта получена в результате обработки аэрофотоснимков с разрешением 2.89 см/пикс и плотностью точек: 1.2e+03 точек/м². На цифровой модели местности синим цветом, закрашена

высота 723м. над уровнем моря, это основа кургана, а красным высота кургана, которая от поверхности земли составляет 18м.

Среднеквадратичное отклонение ошибок, т.е. отклонение от контрольных координат точек рассчитывают по формуле (1):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n}}, \quad (1)$$

Среднеквадратичное отклонение S по опорным точкам приведено в таблице 1, соответственно по координатам X,Y,Z, где общая ошибка составляет 18,12см.

Таблица 1. Среднеквадратичное отклонение S по опорным точкам

Количество	Ошибка, S _x (см)	Ошибка, S _y (см)	Ошибка, S _z (см)	Ошибка S _{xy} (см)	Общая (см)	Фото (пикс)
	9.18614	16.5288	2.07874	18.91	18.1239	2.667

В таблице 2 указано отклонение по координатам X,Y,Z опорных точек, где общее отклонение составило 18.52см.

Таблица 2. Опорные точки

Название	Ошиб ка, X (см)	Ошиб ка, Y (см)	Ошиб ка, Z (см)	Об щая (см)	Фото (пикс)
03	-1.667	-5.085	2.458	5.889	4.77 (6)
04	5.3696	0.4901	-0.134	5.393	0.64 (6)
05	0.947	6.350	-1.907	6.698	0.83 (3)

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

02	-19.13	-25.85	3.136	31.31	0.95 (5)
01	7.131	29.351	-1.614	29.24	1.53 (9)
06	7.529	- 6.555	1.944	10.17	3.46 (8)
Общая	9.186	16.52	2.078	18.52	2.66

Из ортофотопродуктов, которые содержат контурную информацию, можно измерить площадь участка и диаметр купола, в то время как 3D-модель или цифровая высота модельного продукта может быть проанализирована и оценена, чтобы получить информацию, связанную о структуре создаваемых сложных объектов, таких как отвалов (котлованов), поверхности рельефов курганов и т.д.

В зависимости от метода распределения точек модель цифрового рельефа может быть принята как стабильная, частичная, структурная и статистическая модель.

Общая задача вычисления высоты X в заданной координате X решена цифровой моделью полиномиального рельефа (Рис. 7).

$$H = f(x, y), \quad (2)$$

Для разных форм рельефа хороший результат дается неизвестными с уравнением второго порядка:

$$H = a1 * x^2 + a2 * y^2 + a3 * x * y + a4 * x + a5 * y + a6, \quad (3)$$

Точность поверхности аппроксимации зависит от того, насколько точно расположены опорные точки модели. Как показывает практика, плоский рельеф составляет 40 точек на га, более

выпуклых местах до 100 точек на га, а более сложных рельефах - 200-400 точек на га.

Основы создания цифровых моделей рельефа - это информация, полученная при обработке фотографий и аэрофотоснимков, полевых топографических съемок, крупных топографических планов и карт [14].

В целом, эта система имеет некоторые интересные особенности: 1) ее выход; 2) могут управляться местным персоналом; 3) согласно геометрической точности (расчет) и 4) быстрое производство до 8-10 часов в день.

Статические модели получают нелинейную интерполяцию. Они очень универсальны и могут использоваться для описания любой категории мест. Для генерации первого массива данных опорные точки являются однородными в соответствии с правилом случайного распределения. Математическое описание каждого однородного рисунка рельефа выполняется с использованием метода «плавающего квадрата» или «динамического круга» принятого размера.

В таблице 3 даны коэффициенты уравнения 2-го порядка и координаты X и Y , определенные математического описания рельефа местности.

Таблица 3. Коэффициенты уравнения 2-го порядка и координаты X и Y

a1	a2	a3	a4	a5	a6
Коэффициенты					
-1	0	-8	0,2	0,6	0,2
$H = a1 * x^2 + a2 * y^2 + a3 * xy + a4 * x + a5 * y + a6$					
x	y	x*x	y*y	x*y	H
0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,11
0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,11
0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,11
0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,11
0,2	1,2	0,24	1,44	0,24	-1,96
0,2	1,2	0,24	1,44	0,24	-1,96
0,2	1,2	0,24	1,44	0,24	-1,96
0,2	1,2	0,24	1,44	0,24	-1,96
0	0,2	0	0	0	0,2

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Системой ставятся некоторые ограничения к обрабатываемой площади, т.к. работа на большой площади (> 5000Ha) приводит к увеличению количества аэрофотоснимков. Для точной геопривязки нужны контрольные точки и работа с R/C Plane позволяет обрабатывать только

небольшой объем аэрофотоснимков, в результате создается цифровая модель рельефа местности и расчет объема отвала, которая определяется при измерении формы и размера объекта.



Рисунок 7 - Цифровая модель полиномиального рельефа

В структурно моделируемых геоморфологических объектах рельефная описательная система имеет опорные точки в структурных («скелетных») линиях (рис. 7). Высота точек в одной структурной линии между каждой парной точкой определяется линейной интерполяцией. Трудно определить планируемые координаты точек структурной модели, так как для каждой структурной линии должна быть известна ее длина и угол управления [15].

Заключение

В этой статье рассмотрен опыт использования платформы беспилотного летательного аппарата (БПЛА), который основан на дистанционном зондировании заданной территории для поддержки рентабельного точного картографирования поверхности рельефа. Разработана формула, для поиска взаимосвязи между структурными параметрами рельефа

отдельных объектов (Height, Density), которые могут быть измерены этой системой с потенциальным запасом решений, а также создана цифровая модель рельефа местности.

Таким образом, основными продуктами системы, которые были получены в результате цифрового моделирования сложных объектов, являются полученные ортофото и цифровая модель рельефа (облако 3D-точек) с точностью до 2 пиксельных ошибок для горизонтального положения и 5-пиксельной ошибки для вертикали. Из ортофотопродуктов, которые показывают контурную информацию, площадь участка и диаметр купола можно измерить, в то время как 3D-модель или цифровая высота модели позволяет проверить полученную информацию, связанную со структурой моделируемого объекта, это может быть цифровая модель кургана, отвала и др.

References:

1. Beloshapkin, M.A. (2006). *Avtomaticheckii tsifrovoyi aerofotoc'emochnyi kompleks Photolite*. Shectoi Mezhdunarodnyi seminar pol'zovatelei cictemy PHOTOMOD, Bchichi, Chernogoriya, 19–22 centyabrya 2006 g. Tezicy dokladov, pp. 44-48.
2. Ainakulov, Zh.Zh., Makarenko, N.G., & Paltashev, T.T. (2018). Experience of modeling mining landscapes by using methods of intelligent monitoring. *The journal "Current problems in remote sensing of the Earth from space"*, Volume 15, N°7, pp.43-50.
3. (n.d.). Jelektronnyj resurs. Retrieved 11.08.2020 from <https://bilimdon.ru/chto-takoe-regulyator-oborotov-neskolko-slov-pro-priemniki-beskollektornye-motory-esc-i-podklyucheni.html>

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHII (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

4. Ainakulov, Zh.Zh., Makarenko, N.G., & Paltashev, T.T. (2019). Intelligent Monitoring on the Basis of a UAV for Assessing and Predicting the Condition of Objects with Complex Relief. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, Volume 13 (2019).
5. Razakova, M.G., Kuzmin, A.G., Ainakulov, Zh.Zh., Aidarkhanov, E.E., Fedorov, I.O., & Ergaliev, R.K. (2018). *Methodical aspects of using aerospace data for monitoring hazardous natural phenomena*. Abstracts of International Symposium on Water and Land Resources in Central Asia. October 9-11, 2018. (p.1). Almaty, Kazakhstan.
6. Razakova, M., Kuzmin, A., Fedorov, I., Yergaliev, R., & Ainakulov, Z. (2020). *Methods of calculating landslide volume using remote sensing data*. E3S Web Conf. Volume 149, 2020 Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019), DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014902009>
7. Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M. (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology* 128, 2-11, 286.
8. Klasing, K., Wollherr, D., & Buss, M. (2008). *A clustering method for online segmentation of 3d laser data*. Proc. ICRA, pp. 4043-4048.
9. Guk, A.P., Evtratova, L. G., & Alferova, A.C. (2009). Icpolzovanie ctrukturnykh priznakov izobrazhenii tipovykh uchactkov mechnosti dlya vyyavleniya izmenenii coctoyaniya territorii po kocmicheckim cnimkam vycokogo razresheniya [Tekct]. *Izvectiya vuzov. Geodeziya i aerofotoc»emka*, № 6, pp. 52–55.
10. Klasing, K., Wollherr, D., & Buss, M. (2009). *Automatic Segmentation of 3D Laser Point Clouds by Ellipsoidal Region Growing*. Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), December 2-4, 2009, (pp.2-10). Sydney, Australia.
11. Cveshnikova, N.V., & Yurin, D.V. (2006). *Otsenka pogreshnoctei vocctanovleniya trekhmernykh ctsen algoritmami faktorizatsii*. 2006, pp. 1-9. Retrieved 28.02.2016 from http://www.graphicon.ru/html/2006/proceeding/papers/fr09_32_Sveshnikova_Yurin.pdf
12. Chandra, A.M., & Gosh, C.K. (2008). «*Dictantsionnoe zondirovanie i geograficheckie informatsionnye cictemy*». *Tekhnocfera*, pp. 308-312.
13. Rokhmana, C.A. (2015). The potential of UAV-based remote sensing for supporting precision agriculture in Indonesia. *Procedia Environ. Sci.* 24, 245–253.
14. Eisenbeiss, H. (2008). *Avtonomnyi mini-vertolet: moshchnaya platforma dlya mobil'nogo kartografirovaniya*. Kongrecc ISPRS, Pekin, Kitai, Mezhdunarodnyi Arkhivy fotogrammetrii, dictantsionnogo zondirovaniya i proctranctvennykh informatsionnykh nauk. XXXVII. Chact' B1: 977-983.
15. Walter, M., Niethammer, U., Rothmund, S., & Joswig, M. (2009). UAV-based remote sensing of the slow-moving landslide Super-Sauze. *First Break* 27, 75-82, 29.