Л.В. Петрикова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ PHOTOMOD UAS И PHOTOMOD AUTOUAS

Новосибирск
СГУГиТ
2026

Файл проверен

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
НОВОСИБИРСКИЙ ТЕХНИКУМ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(НТГиК СГУГиТ)

Л.В. Петрикова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ С БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ PHOTOMOD UAS И PHOTOMOD AUTOUAS

Методические указания по изучению междисциплинарного курса для обучающихся по специальности 21.02.20 Прикладная геодезия - направленность «Аэрофотогеодезия»
(по программе подготовки специалистов среднего звена)

Новосибирск
СГУГиТ
2026

Файл проверен

УДК ?
П ?
Рецензенты: преподаватель высшей квалификационной категории общепрофессиональных дисциплин НТГиК СГУГиТ ?

Петрикова Л.В.

П Методические рекомендации по обработке данных аэрофотосъёмки с БПЛА с использованием программных комплексов PHOTOMOD UAS И PHOTOMOD AUTOUAS [Текст]: метод. указания по изучению междисциплинарного курса / Л.В. Петрикова – Новосибирск: СГУГиТ, 2026. – 50.

Методические указания подготовлены преподавателем общепрофессиональных дисциплин НТГиК СГУГиТ Л.В. Петриковой.

В методических указаниях даны рекомендации по процессу обработки материалов аэрофотосъёмки полученных с БПЛА в программных комплексах PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AUTOUAS, а также по их дальнейшему применению в аэрофотопографическом производстве. Методические указания по выполнению практической работы рассматриваются как один из этапов освоения профессионального модуля ПМ 04. МДК.04.02 Стереотопографическая съемка» для обучающихся по специальности 21.02.20 Прикладная геодезия - направленность «Аэрофотогеодезия». Рекомендованы к изданию цикловой комиссией «Землеустройство и геодезия» НТГиК СГУГиТ.

Печатается по решению административно-методического совета НТГиК СГУГиТ.

ISBN
© СГУГиТ, 2026

Файл проверен

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 2
1. ОБРАБОТКА ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ PHOTOMOD UAS 3
1.1. Анализ исходных материалов 3
1.2. Создание нового проекта 4
1.3. Внутреннее ориентирование 6
1.4. Внешнее ориентирование 8
1.5. Взаимное ориентирование 11
1.6. Внешнее ориентирование 15
1.7. Уравнивание блока 19
1.8. Область применения уравненного блока 28
2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ПОЛУЧЕННОЙ С БПЛА В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ PHOTOMOD AUTOUAS .. 30
2.1. Требования к исходным данным для обработки 30
2.2.1. Входные данные 30
2.2.2. Требования к файлу, содержащему метаданные 30
2.2.3. Требования к файлу, содержащему параметры камеры 31
2.2.4. Требования к внешнему облаку точек (las) 31
2.2. Первоначальная настройка 32
2.3. Выбор параметров для обработки данных аэрофотосъёмки 33
2.4. Анализ полученных данных 35
2.5. ВЫХОДНЫЕ ФАЙЛЫ 42
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ 44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 46

Файл проверен

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты плотно вошли в нашу современную жизнь и используются в различных сферах. С помощью БПЛА можно быстро и эффективно решить ряд сложных задач, например, проведение аэросъёмочных работ (фотографирование местности), а в дальнейшем выполнение фотограмметрической обработки аэрофотоснимков в различных программных обеспечениях. [7]

Одним из видов фотограмметрической обработки является фототриангуляция аэрофотоснимков, которая заключается в обеспечении снимков опорными точками, необходимые для создания планов и карт, и решения ряда инженерных задач, не вступая в контакт с объектом.[3]

Цель данной работы – выполнение обработки данных аэрофотосъёмки полученных с БПЛА в программных обеспечениях PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AUTOUAS.

В процессе выполнения практической работы будут формироваться следующие навыки:

– изучен интерфейс и возможности программных обеспечений PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AUTOUAS, а также выявлены их функциональные особенности;

– выполнена обработка аэрофотоснимков, полученных с БПЛА в программных обеспечениях PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AUTOUAS.

Файл проверен

1. ОБРАБОТКА ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ PHOTOMOD UAS

1.1. Анализ исходных материалов

Исходные данные к работе (перечень основных материалов):

1) Данные результатов аэрофотосъемки местности с БПЛА;

Объектом исследования являются аэрофотоснимки, полученные с БПЛА на территорию Казахстана, объект Госуниверситета.

До начала фотограмметрической обработки необходимо провести анализ исходных материалов.

Для камеральных работ были использованы:

– абрисы, которые помогут определить местоположения опоры, вплоть до пиксельной точности;

– файл с координатами опорных точек в текстовом формате (.txt,.csv). Система координат и высот опоры проекта должна совпадать с системой координат выходных продуктов обработки, которая определяется заказчиком.

– снимки (их формат, информация о камере и ЭВО). Предварительные значения элементов внешнего ориентирования снимка хранятся «внутри» каждого растра формате EXIF (широта, долгота, высота в системе координат WGS 84);

– файл с элементами внутреннего ориентирования (ЭВО), который должен содержать описание его формата (столбцов). Имена снимков в файле ЭВО должны соответствовать именам файлов с изображениями;

– информация о точности центров фотографирования и система координат и высоты проекта.

Файл проверен

Вся эта информация должна быть получена от заказчика. В противном случае, нет гарантии корректных результатов обработки. Также использовалось руководство пользователя PHOTOMOD UAS компании Ракурс [5].

1.2. Создание нового проекта

В окне Управление проектами необходимо нажать кнопку Создать (рис.1).

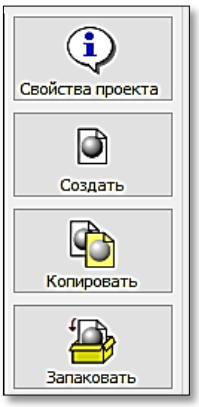


Рисунок 1 – Параметры для создания нового проекта

Желательно, чтобы имя проекта отражала его суть. Тип проект для БПЛА – центральная проекция (рис.2).

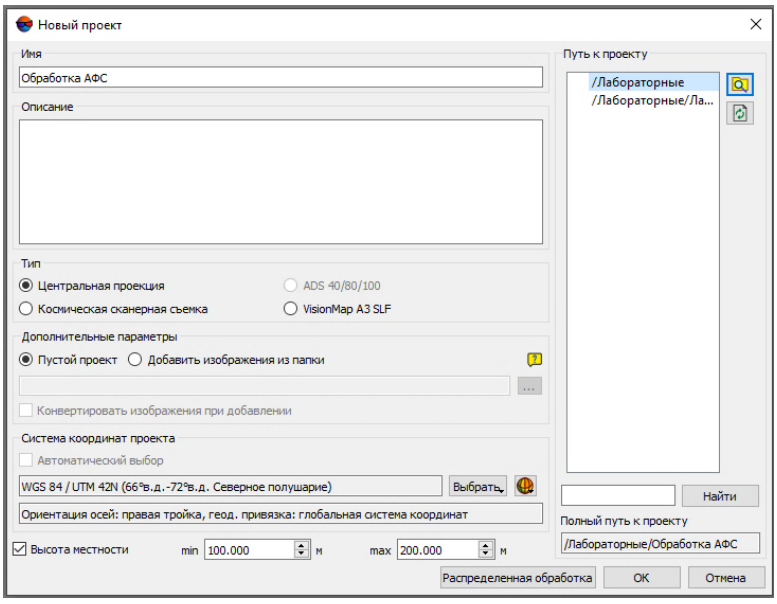


Рисунок 2 – Окно создания нового проекта

Файл проверен

Из базы данных нужно выбрать систему координат проекта в соответствии с требованиями заказчика к системе координат выходных продуктов (рис.3).

40	WGS 84 / UTM 40N	54°в.д.-60°в.д. Северное полушарие
41	WGS 84 / UTM 41N	60°в.д.-66°в.д. Северное полушарие
42	WGS 84 / UTM 42N	66°в.д.-72°в.д. Северное полушарие
43	WGS 84 / UTM 43N	72°в.д.-78°в.д. Северное полушарие
44	WGS 84 / UTM 44N	78°в.д.-84°в.д. Северное полушарие

Рисунок 3 – База систем координат «Международная»

Далее указываются приблизительные значения минимальной и максимальной высоты местности на территорию съемки (рис.4). Значение высот следует вводить с некоторым «запасом» в обе стороны (в дальнейшем можно изменить в свойствах проекта).



Рисунок 4 – Окно значения высот

Далее указывается путь хранения проекта и нажимается кнопка «ОК». В появившемся окне Редактора блока необходимо Добавить изображения из файлов (Ins) (рис.5).

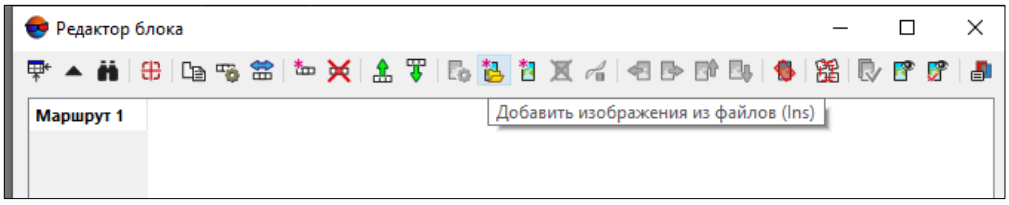


Рисунок 5 – Окно Редактор блока

Из папки БЛА UAS (Images) необходимо указать все изображения и нажать кнопку Преобразовать (рис.6). Все настройки по умолчанию.

Файл проверен

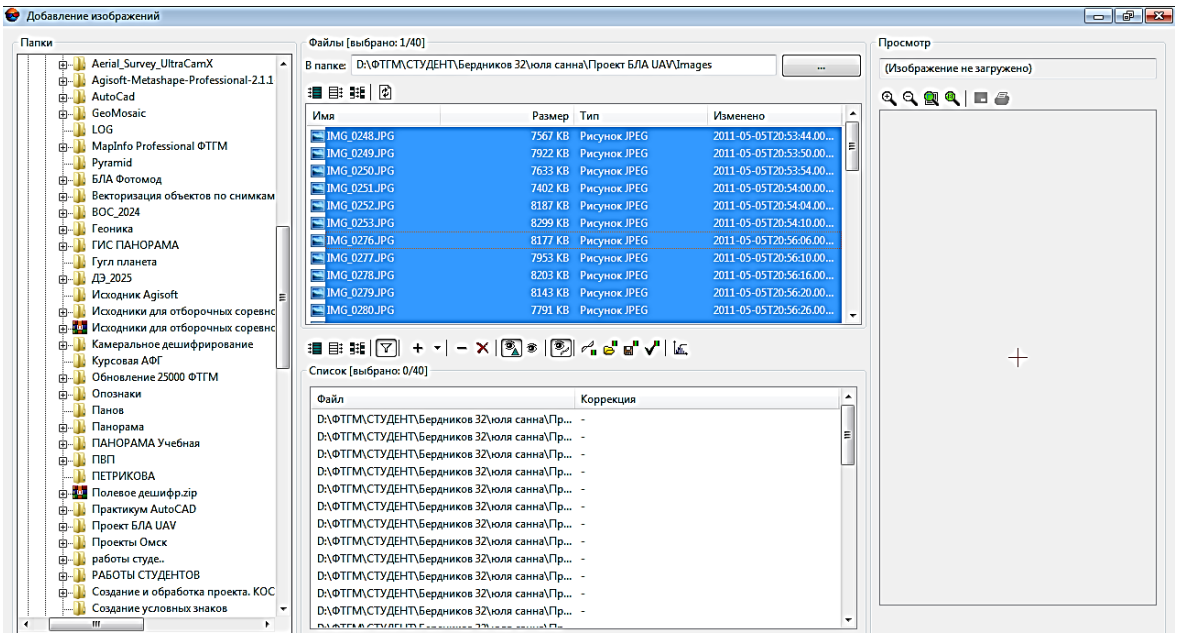


Рисунок 6 – Окно Добавление изображений

После преобразования все снимки добавлены в проект.

Для отображения слоя растра используется команда "Показать растр". (рис.7)

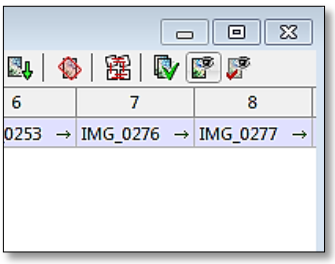


Рисунок 7 – Команда "Показать растр"

1.3. Внутреннее ориентирование

Для внутреннего ориентирования необходимо выбрать команду Импорт из метаданных (рис.8).

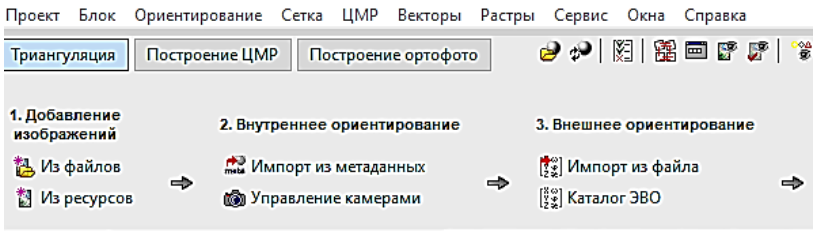


Рисунок 8 – Вкладка Импорт из метаданных

Файл проверен

В появившемся окне Импорт ориентирования из метаданных все настройки по умолчанию. Далее нажимается кнопка «ОК». (рис.9).

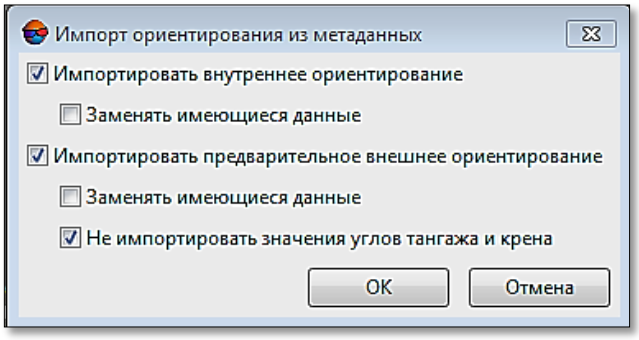


Рисунок 9 – Окно Импорт ориентирования из метаданных

Проверку выполнения внутреннего ориентирование можно проконтро лировать, нажав на панели быстрого доступа Управление камерами (рис.10).

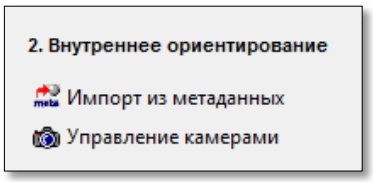


Рисунок 10 – Вкладка Управление камерами

При выполненном внутреннем ориентировании снимкам будет присвоена камера (рис.11).

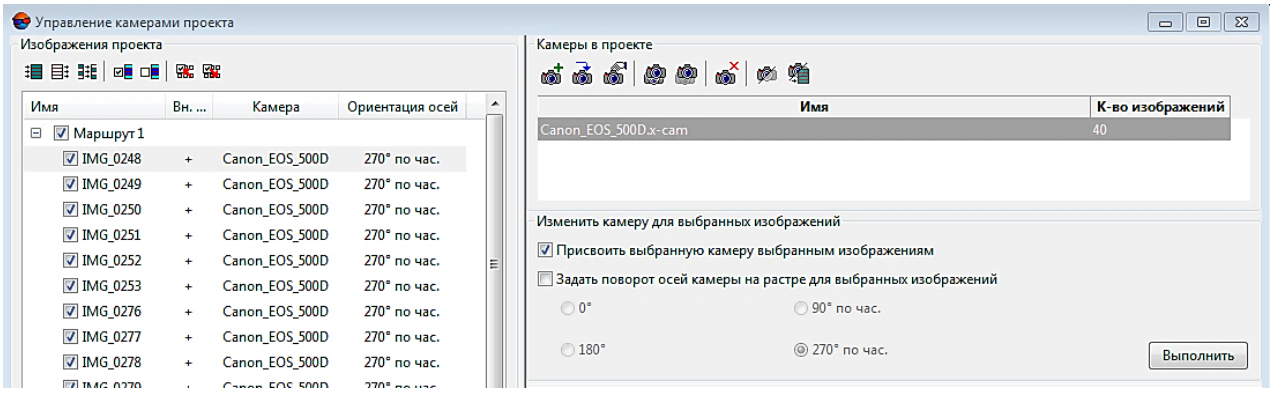


Рисунок 11 – Управление камерами

Файл проверен

1.4. Внешнее ориентирование

Для импорта элементов внешнего ориентирования (ЭВО) необходимо выбрать команду Импорт из файла и выбрать нужный файл (рис.12).

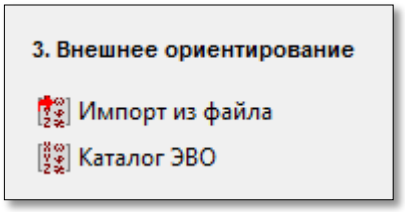


Рисунок 12 – Вкладка Импорт из файла

Далее необходимо выбрать файл с элементами внешнего ориентирования , пример наименования файла : «EO.txt.».

При импорте следует контролировать Шаблон импорта строки. Его можно менять вручную, перетягивая мышью названия столбцов из панели Доступные поля или набрав текст на клавиатуре. Следует проконтролировать, с какой строки у файлов начинаются значения ЭВО, а так же чтобы разделить столбцов и десятичный разделитель отличились друг от друга.

ЭВО были заранее пересчитаны в СК проекта поэтому необходимо выбрать опцию CSV (центры проекции) и нажать Далее (рис.13).

Файл проверен

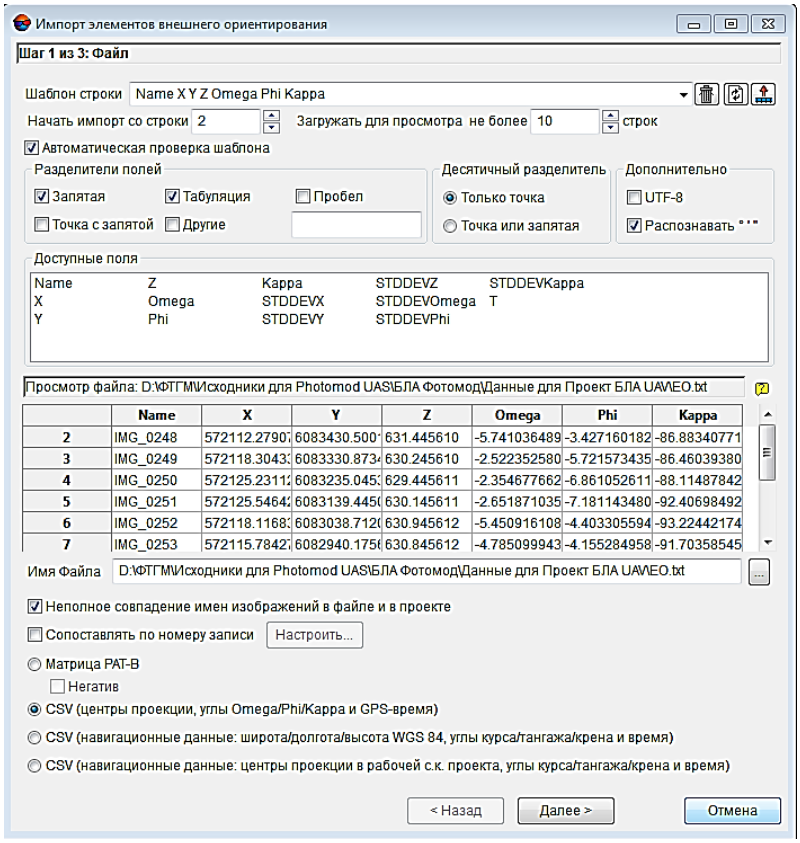


Рисунок 13 – Импорт элементов внешнего ориентирования

Импорт угловых ЭВО не является критически важным, важно, чтобы были импортированы центры фотографирования (центры проекций), и затем нажимается «Далее». (рис.14).

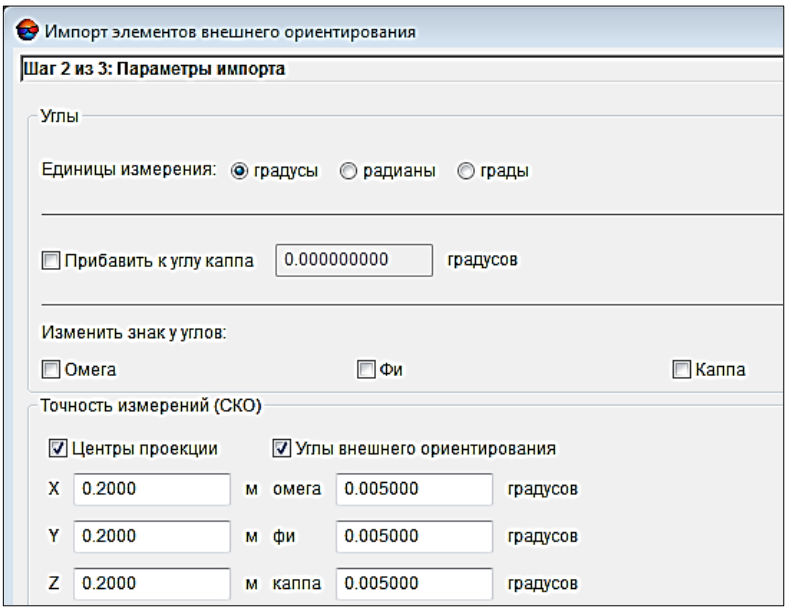


Рисунок 14 – Импорт элементов внешнего ориентирования

Файл проверен

Следует включить опции «Разбить по маршрутам» и «Построить накидной монтаж», нажать «Выполнить». (рис.15)

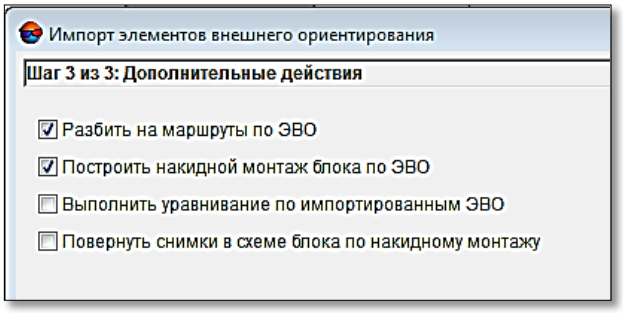


Рисунок 15 – Импорт элементов внешнего ориентирования

В результате импорта элементы внешнего ориентирования будут присвоены для всех имеющихся снимков.

Далее в появившемся окне «Разбиение на маршруты по внешнему ориентированию», настройки необходимо оставить по умолчанию и нажать «ОК».(рис.16).

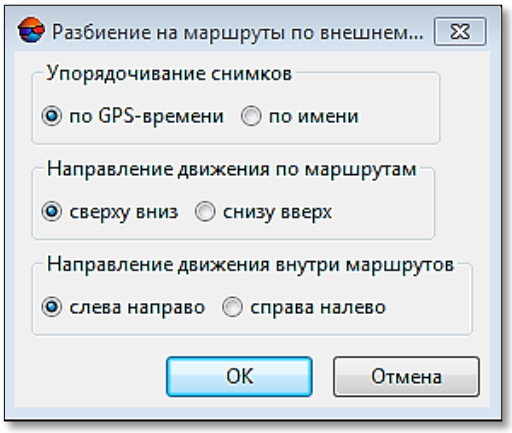


Рисунок 16 – Параметры окна Разбиение на маршруты

Проверить выполнение импорта элементов внешнего ориентирования можно с помощью команды «Каталог ЭВО». (рис.17)

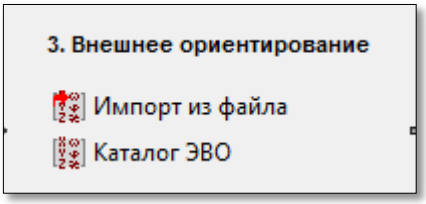


Рисунок 17 – Вкладка Каталог ЭВО

Файл проверен

Значения данных в каталоге указаны в метрах, поскольку система координат проектов PHOTOMOD может быть только метрической.

1.5. Взаимное ориентирование

Для взаимного ориентирования необходимо нажать команду «Автоизмерение связующих точек». (рис.18)

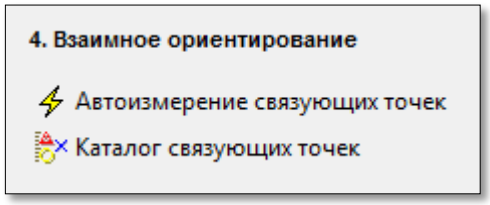
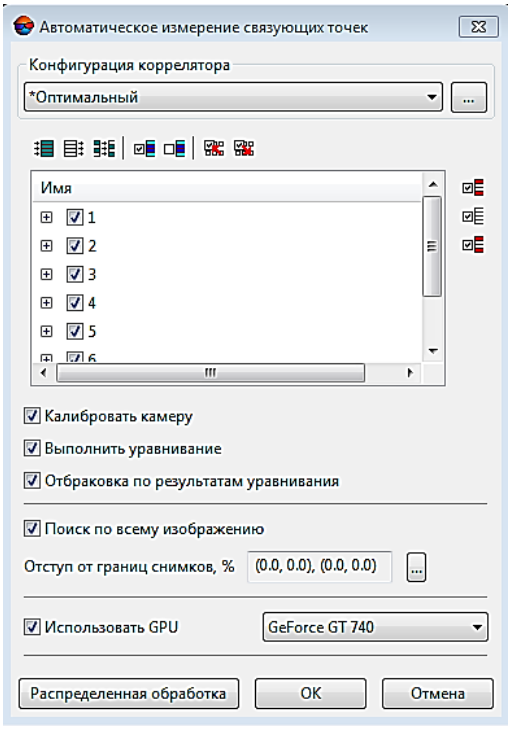


Рисунок 18 – Вкладка Автоизмерение связующих точек

По умолчанию используется «Средний режим» в конфигурации коррелятора. Перед началом измерения необходимо убедиться, что включена калибровка камеры, если она не производилась заранее. Рекомендуется использовать распределенную обработку для ускорения процесса, указав количество ядер компьютера . (рис.19)



Файл проверен

Рисунок 19 – Настройка окна Автоматическое измерение связующих точек

По завершении будет открыт отчет по обработке блока. Данный отчет является промежуточным результатом работы и не является конечным продуктом. Оценка точности автоизмерения связующих точек выполняется по остаточному поперечному параллаксу, который «Max Y-par не должен превышать 0.5 пикс.

В отчете обязательно проверяем результаты калибровки камеры. Главный пункт – фокусное расстояние. Разница между вычисленным и исходным значениями не должно превышать 10%. Если разница составляет больше 10%, то такая калибровка является некорректной, следует вернуть исходную камеру для дальнейшей работы. На данном этапе разница составила 2.49%, следовательно, в допуске (рис.20). При необходимости отчет можно сохранить.

Результаты калибровки камер(ы)

	Исходные значения	Оптимизированные значения
Камера	Canon_EOS_500D	Canon_EOS_500D[poly] [selfcal]
Фокусное расстояние, mm	28.000	29.198
Главная точка (X/Y), mm	0.000 / 0.000	0.140 / 0.126
Размер пикселя (X/Y), mm	0.005 / 0.005	0.005 / 0.005
Тип дисторсии, mm	----	Формула
Точка симметрии (X/Y), mm	0.000 / 0.000	0.140 / 0.126
K1	0.000000	-0.000128
K2	0.000000	1.594658e-07
K3	0.000000	8.756640e-10
K4	0.000000	-7.779454e-12
K5	0.000000	1.962510e-14
P1	0.000000	1.142160e-06
P2	0.000000	0.000013
P3	0.000000	-0.003952
P4	0.000000	9.351003e-06
b1	0.000000	0.000205
b2	0.000000	-0.000011

Рисунок 20 – Результат обработки

Файл проверен

Далее необходимо открыть Каталог связующих точек (рис.21).

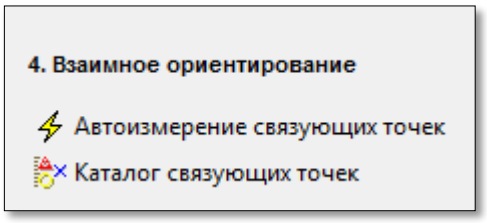
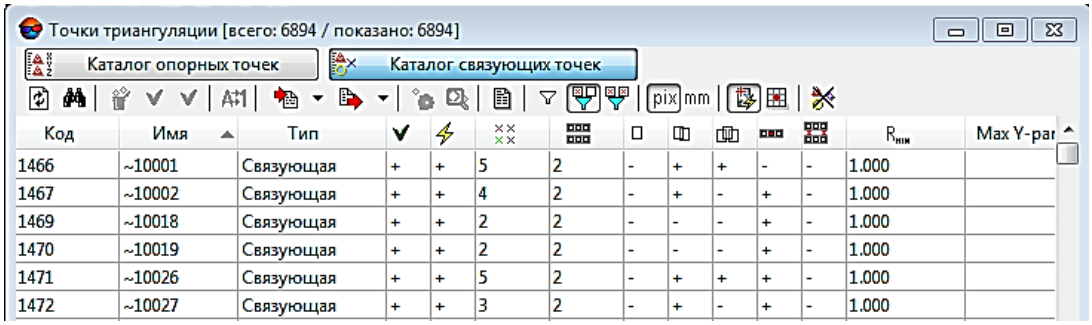


Рисунок 21 – Вкладка Каталог связующих точек

В каталог связующих точек следует проконтролировать, что все связующие точки были измерены системой. (рис.22)



Код	Имя	Тип										R_{min}	Max Y-par
1466	~10001	Связующая	+	+	5	2	-	+	+	-	-	1.000	
1467	~10002	Связующая	+	+	4	2	-	+	-	+	-	1.000	
1469	~10018	Связующая	+	+	2	2	-	-	-	+	-	1.000	
1470	~10019	Связующая	+	+	2	2	-	-	-	+	-	1.000	
1471	~10026	Связующая	+	+	5	2	-	+	+	+	-	1.000	
1472	~10027	Связующая	+	+	3	2	-	+	-	+	-	1.000	

Рисунок 22 – Каталог связующих точек

В окне Управление камерами также нужно проверить, что снимкам присвоена новая откалиброванная камера (рис.23).

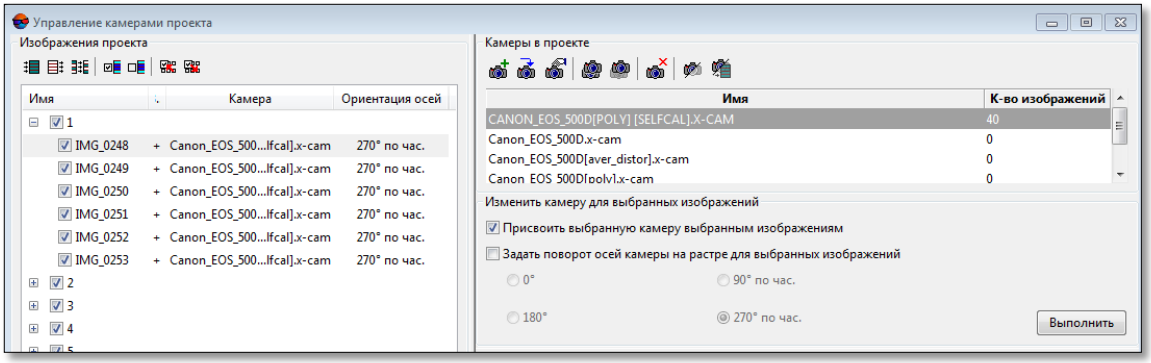


Рисунок 23 – Окно Управление камерами

Параметры камеры отобразятся при нажатии двойным щелчком левой кнопки мыши на новую камеру (рис.24).

Файл проверен

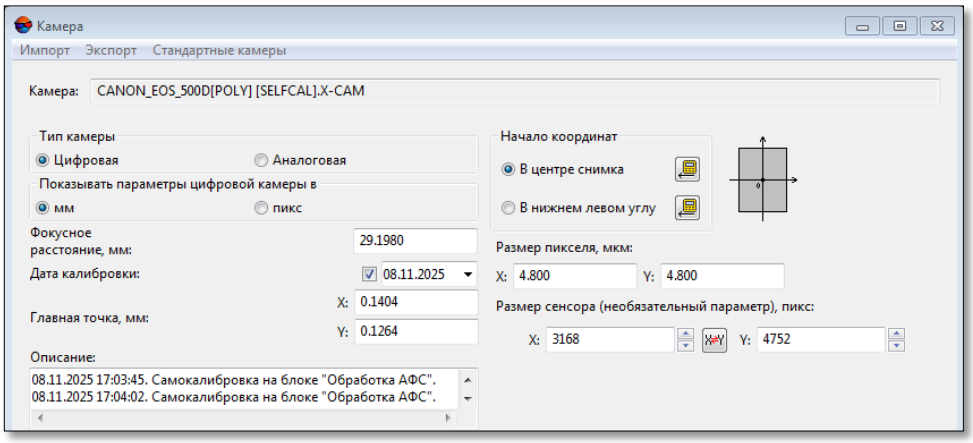


Рисунок 24 – Параметры камеры

Если в схеме блока видны «выпавшие» снимки (которые не были включены в схему блока после взаимного ориентирования), то рекомендуется проверить корректность взаимного ориентирования через Ориентирование → Дополнительно → Отчет о взаимном ориентировании.

Если взаимное ориентирование не выполнено для каких-либо стереопар, их количество отобразится в графе «не выполнено по стереопарам» в таблице «статистика». Нажимая на номер маршрута можно посмотреть результат по конкретному маршруту. (рис.25)

Статистика по блоку

Проект: Обработка АФС

Количество маршрутов: 7, выбрано для отчёта 7

Количество снимков: 40, выбрано для отчёта 40

Дата составления отчёта: 8 ноября 2025 г., 17:09:27

[В начало]

Внутримаршрутные измерения

Статистика

Маршруты	Снимки	Стереопары				Триплеты			
		Всего	Выполнено	Ошибки	Не выполнено	Всего	Выполнено	Ошибки	Не выполнено
1	IMG_0248 — IMG_0253	5	5	0	0	4	0	4	0
2	IMG_0281 — IMG_0276	5	5	0	0	4	0	4	0
3	IMG_0300 — IMG_0305	5	5	0	0	4	0	4	0

Рисунок 25 – Отчет по взаимному ориентированию

Файл проверен

1.6. Внешнее ориентирование

Далее необходимо загрузить опорные точки через Импорт каталога (рис.26)

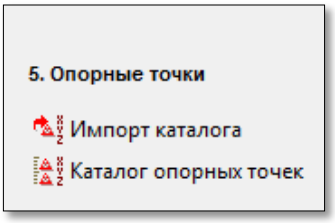


Рисунок 26 – Вкладка Импорт каталога

Выбрать файл «Каталог опознаков.csv» и нажать кнопку Открыть (рис.27).[4]

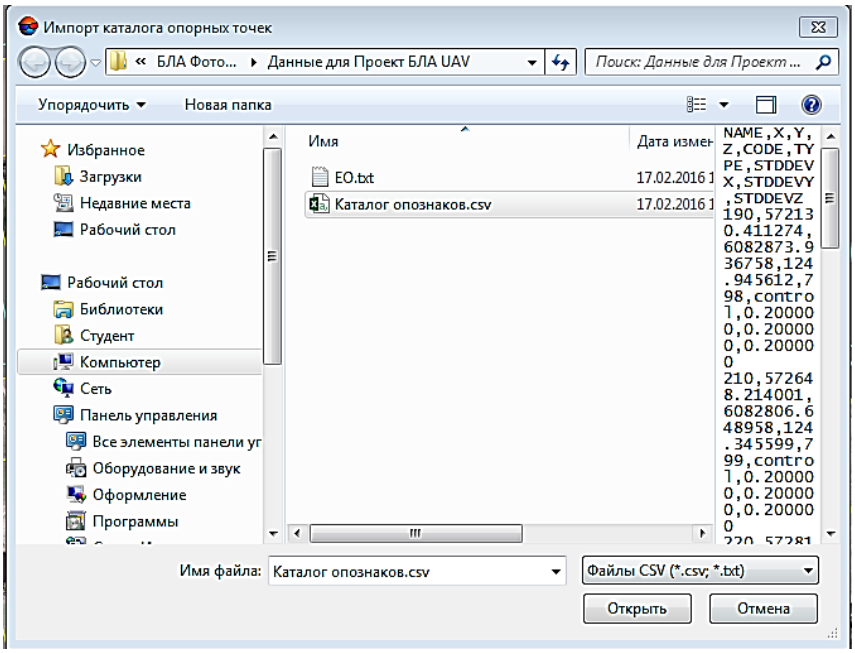


Рисунок 27 – Каталог опознаков

Как и при импорте ЭВО необходимо проверить шаблон строки, начальную строку и разделители. Для импорта опознаков настройка шаблона будет представлена на (рис.28) Далее нужно нажать «ОК».

Файл проверен

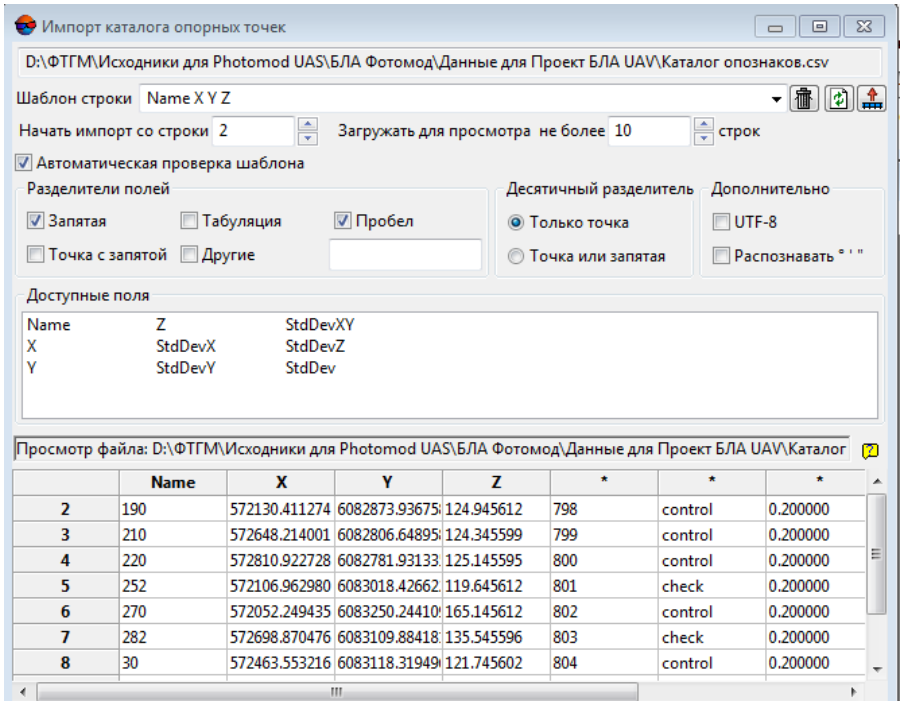


Рисунок 28 – Настройка окна Импорт каталога опорных точек

Загруженные данные необходимо проверить и после этого нажать «ОК» (рис.29).

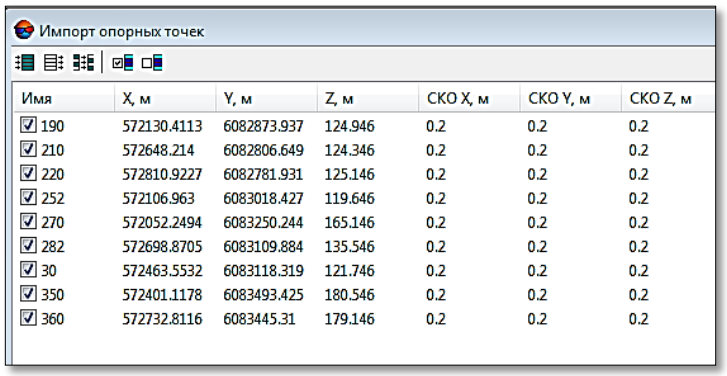


Рисунок 29 – Загруженные опорные точки

Далее автоматически открывается окно Измерение точек (рис.30) и выполняются следующие действия:

Двойным щелчком левой кнопки мыши необходимо активировать опорную точку в каталоге.

Файл проверен

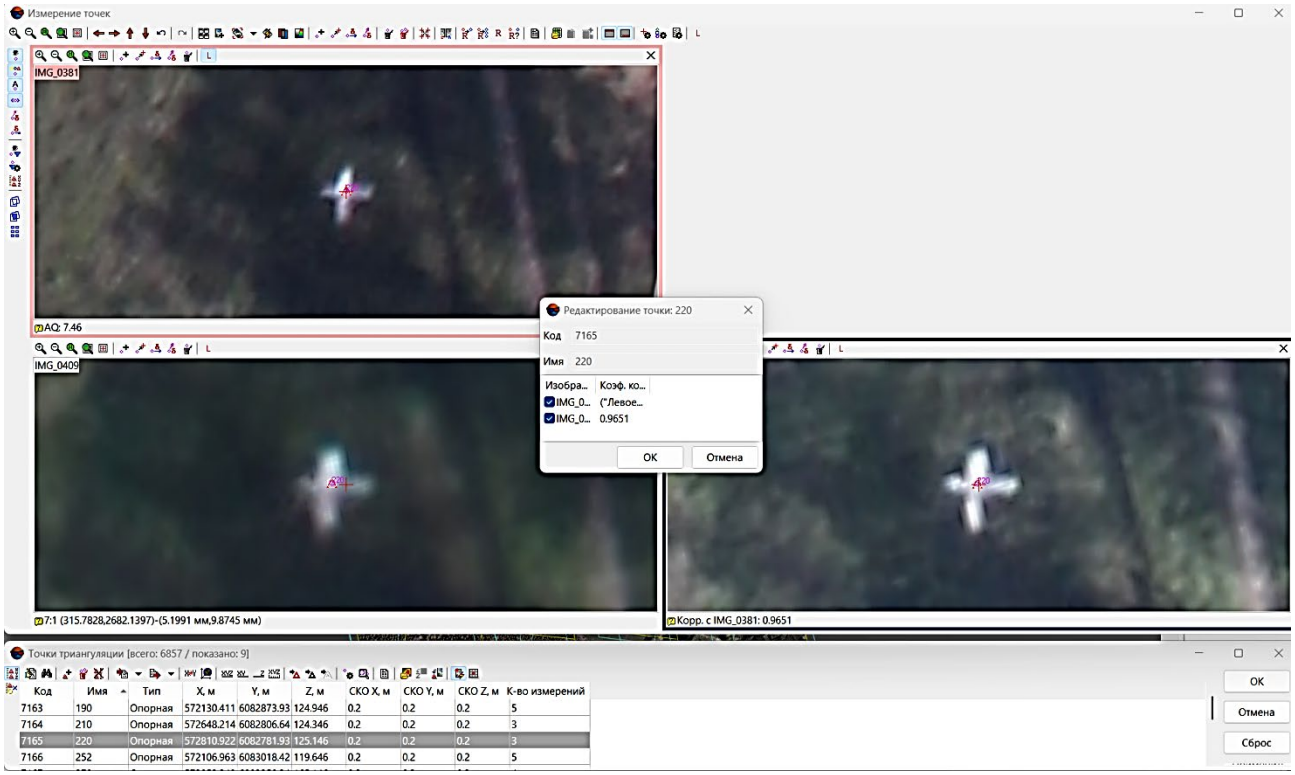
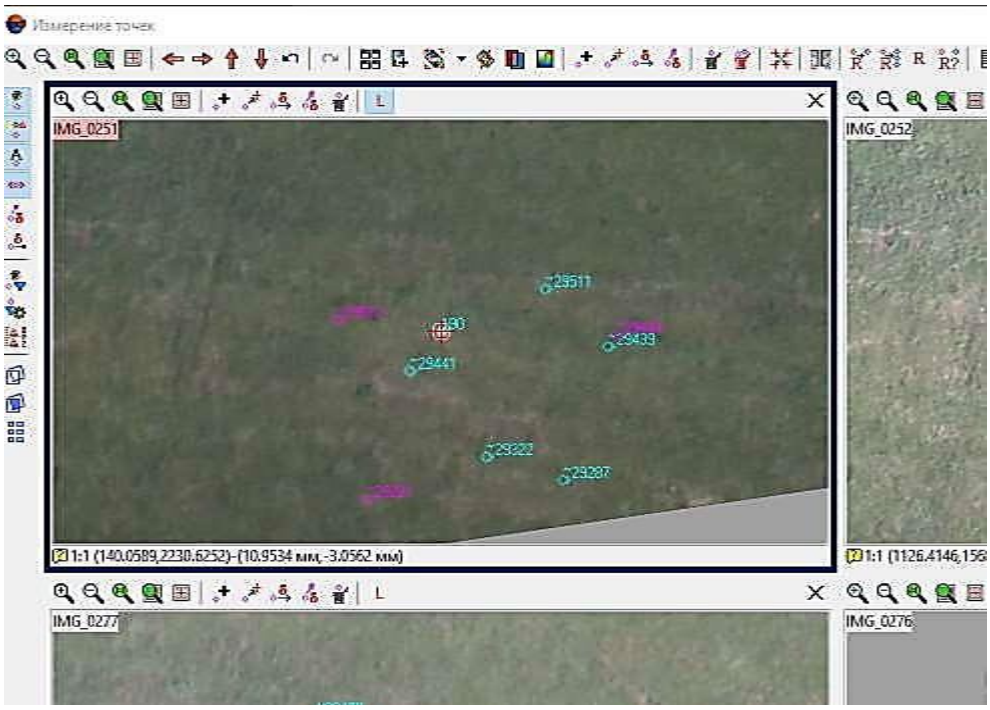


Рисунок 30 – Окно Измерение точек

Используя горячие клавиши «*» и «/» (увеличить, уменьшить) можно отредактировать визуальное отображение, чтобы точно навестись маркером. Наиболее четкий снимок необходимо назначить главным, нажав кнопку L (Left) на панели инструментов в окне снимка. (рис.31)



Файл проверен

Рисунок 31 – Процесс измерения точек

Далее необходимо переместить точку в положение маркера при помощи клавиши insert на клавиатуре (рис.32). Для измерения этой точки на остальных снимках нужно нажать ctrl + пробел.

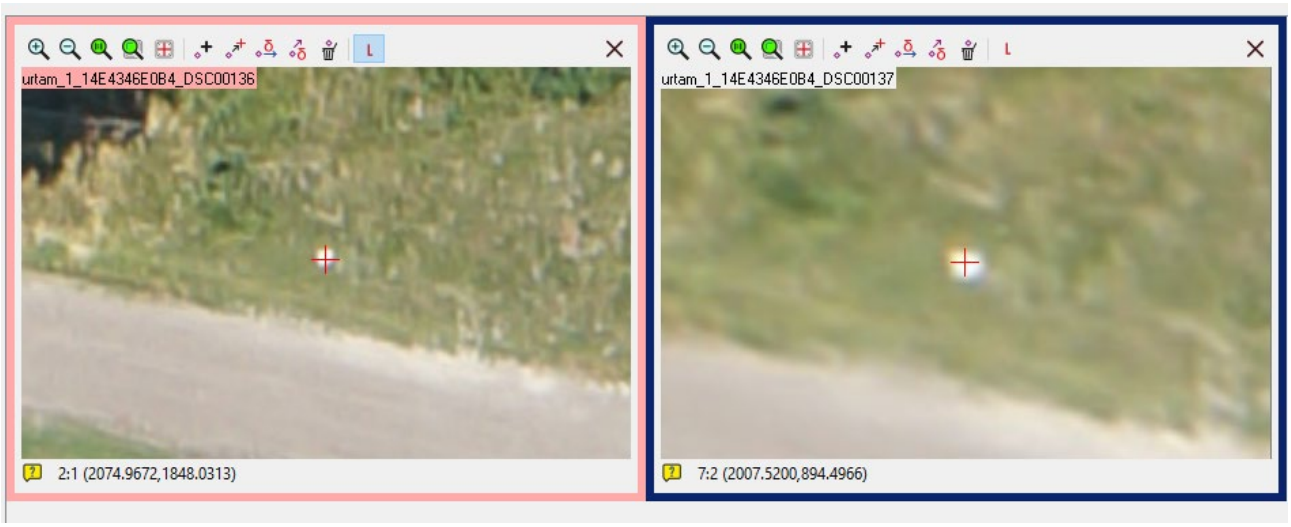


Рисунок 32 – Процесс измерения точек

При каждом измерении необходимо визуально проверять точность измерений в окне Редактирования точки. Как правило, значение коэффициента корреляции в случае корректного измерения составляет 0.9 и выше (рис.33).

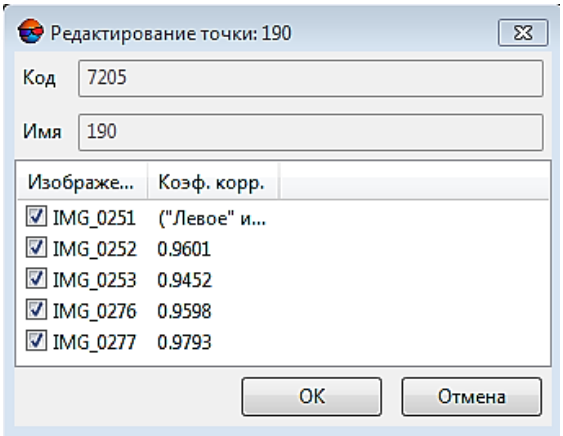


Рисунок 33 – Окно Редактирование точки

Аналогичные действия производятся для каждой опорной точки с каталога. После обязательно в каталоге измерений нужно нажать кнопку Применить и «ОК».(рис.34)

Файл проверен

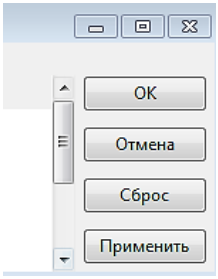


Рисунок 34 – Окно Измерение точек

1.7. Уравнивание блока

Для запуска процесса уравнивания необходимо выбрать команду «уравнивание блока» (рис. 35).

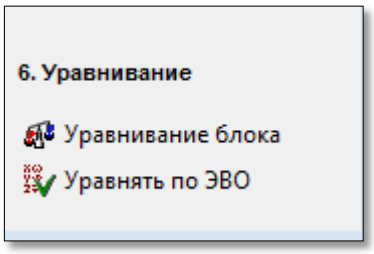


Рисунок 35 – Вкладка Уравнивание блока

(рис.36).

Далее в окне Уравнивание блока необходимо выбрать Редактировать параметры. (рис.36)

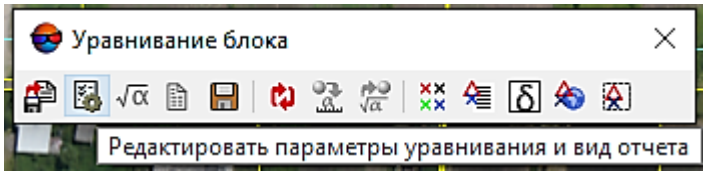


Рисунок 36 – Уравнивание блока

Далее производятся настройки параметров уравнивания. Во вкладке Уравнивание необходимо указать метод «По схеме блока» в качестве начального приближения и «Метод связок» для уравнивания (рис.37)

Файл проверен

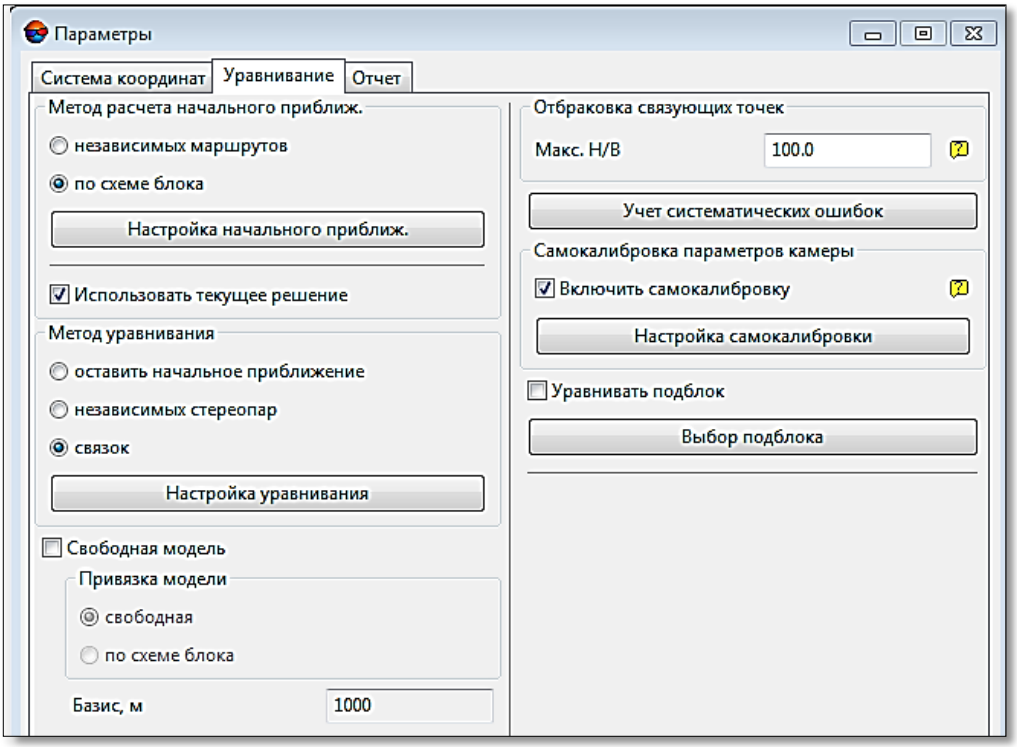


Рисунок 37 – Параметры окна Уравнивание

При нажатии кнопки «Настройка уравнивания» открывается окно «Параметры метода связок» (рис.38). Для выбора значения СКО (Среднеквадратическое отклонение) нужно оценить качество изображений визуально. В случае четких изображений без «смазов» нужно задать значение СКО=0.5 пикс. В случае нечетких изображений значения СКО может быть повышено до 0.8–1пикс. Опцию использования углов внешнего ориентирования нужно выключить. Дальнейшие настройки в этом окне остаются неизменными по умолчанию.

Файл проверен

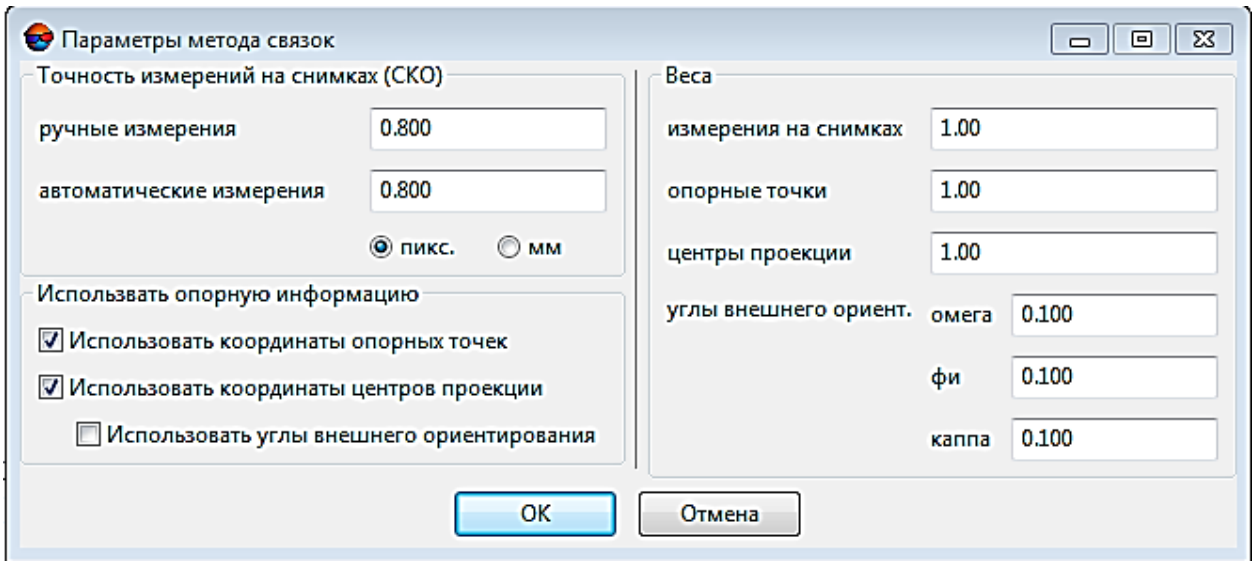


Рисунок 38 – Окно Параметры метода связок

Учет систематических ошибок на центрах фотографирования имеет смысл, в случае наличия в проекте опоры. При этом, можно выбрать типа поправок, общие на блок или общие на маршрут в зависимости от проекта (рис.39).

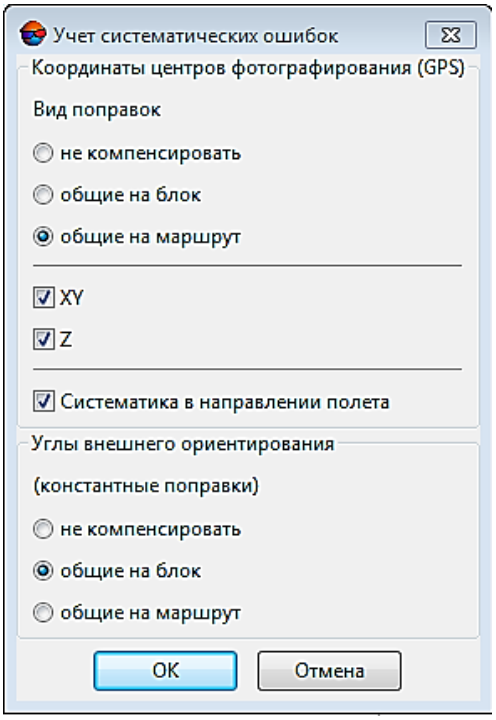


Рисунок 39 – Учет систематических ошибок

Файл проверен

При добавлении опорных точек рекомендуется перекалибровать камеру. Обязательно убедиться, что все галочки в колонке оптимизировать включены (рис.40).

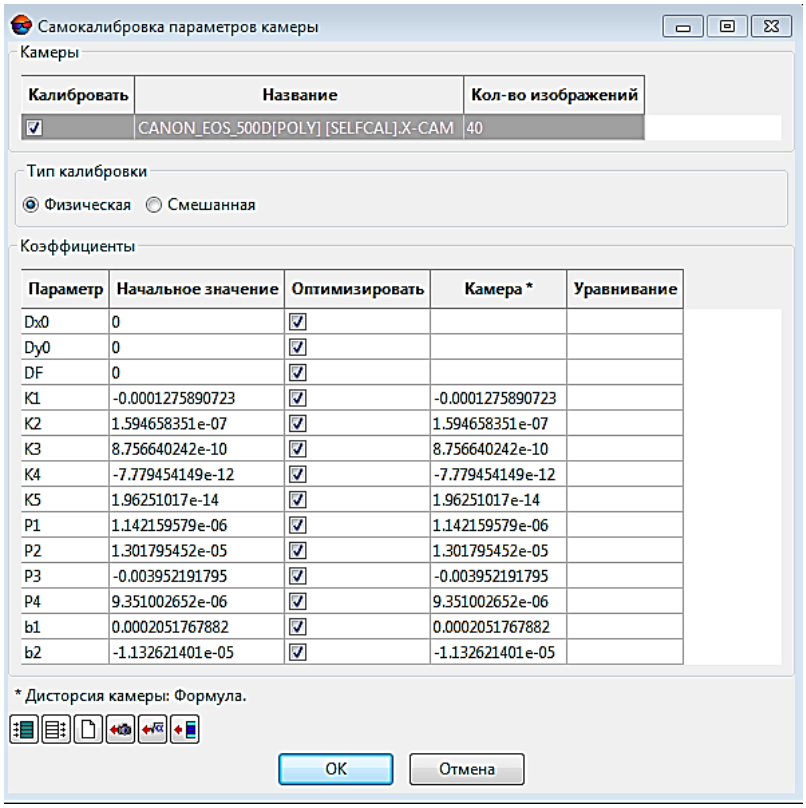


Рисунок 40 – Окно Самокалибровка параметров камеры

Для оценки точности уравнивания следует задать значение допусков соответствия с инструкцией по фотограмметрическим работам или требованиями заказчика (рис.41).

Файл проверен

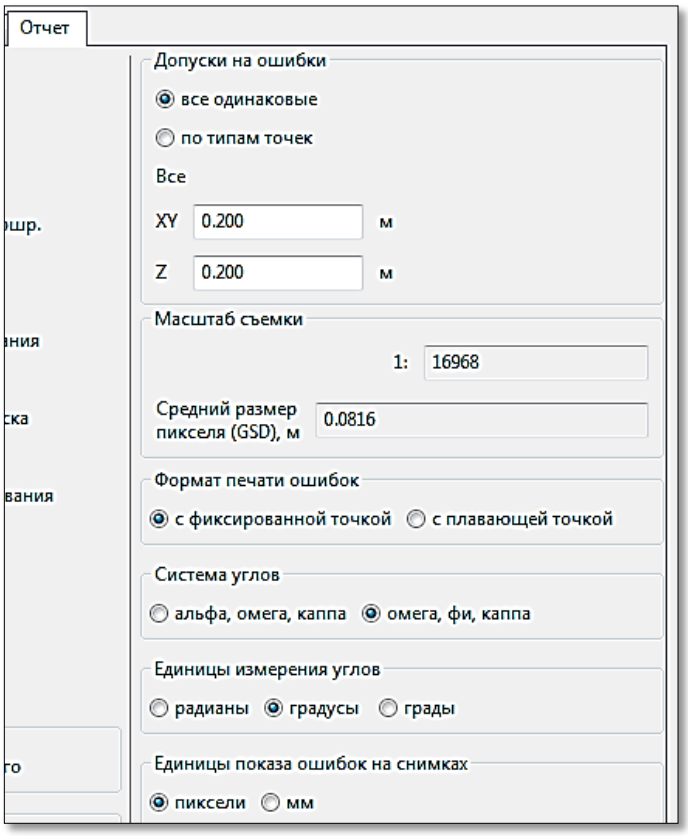


Рисунок 41 – Окно параметров отчета

Далее необходимо нажать кнопку «уравнять» для запуска процесса. Для комфортного просмотра ошибок можно использовать масштаб отображения в окне параметры отображения (рис.42).

Файл проверен

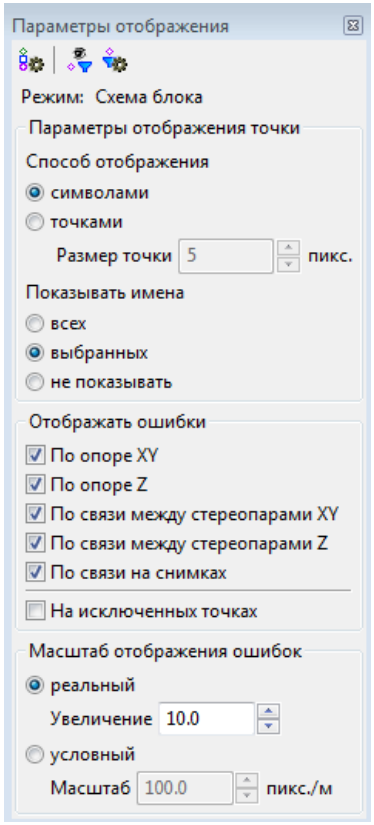


Рисунок 42 – Параметры отображения

Для отображения точек с ошибками, превышающими заданные допуски, следует настроить параметры окна фильтра точек и активировать команду «Включить фильтр» (рис.43), (рис.44). При наличии точки с превышением допуска её можно исключить из уравнивания (в окне Уравнивание блока кнопка Атрибуты точки) или измерить заново.

В плане точность (по опоре) - 0.2 м (2см), по высоте-0.3 м (3см).

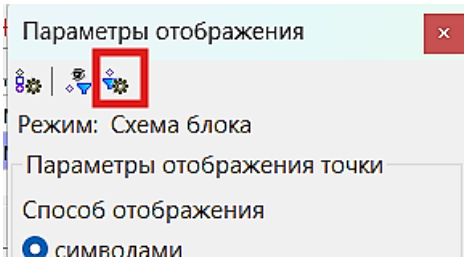


Рисунок 43 – Параметры отображения

Файл проверен

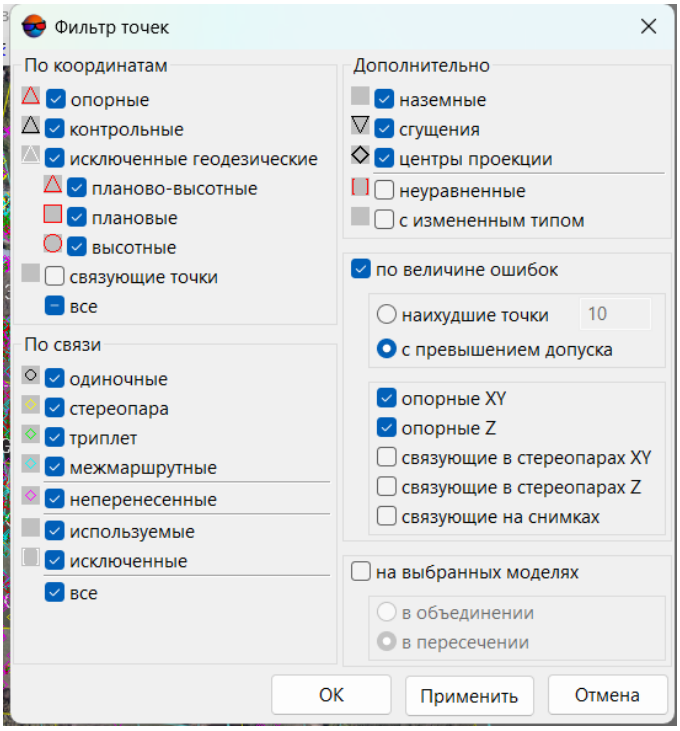


Рисунок 44 – Окно Фильтр точек

Для исправления точек превышающих допуски, как на (рис.45), они будут обозначены сферой ошибок, необходимо открыть окно с измерениями выбранной точки и изменить ее положение (рис.46).



Рисунок 45 – Неточности во время уравнивания

Файл проверен

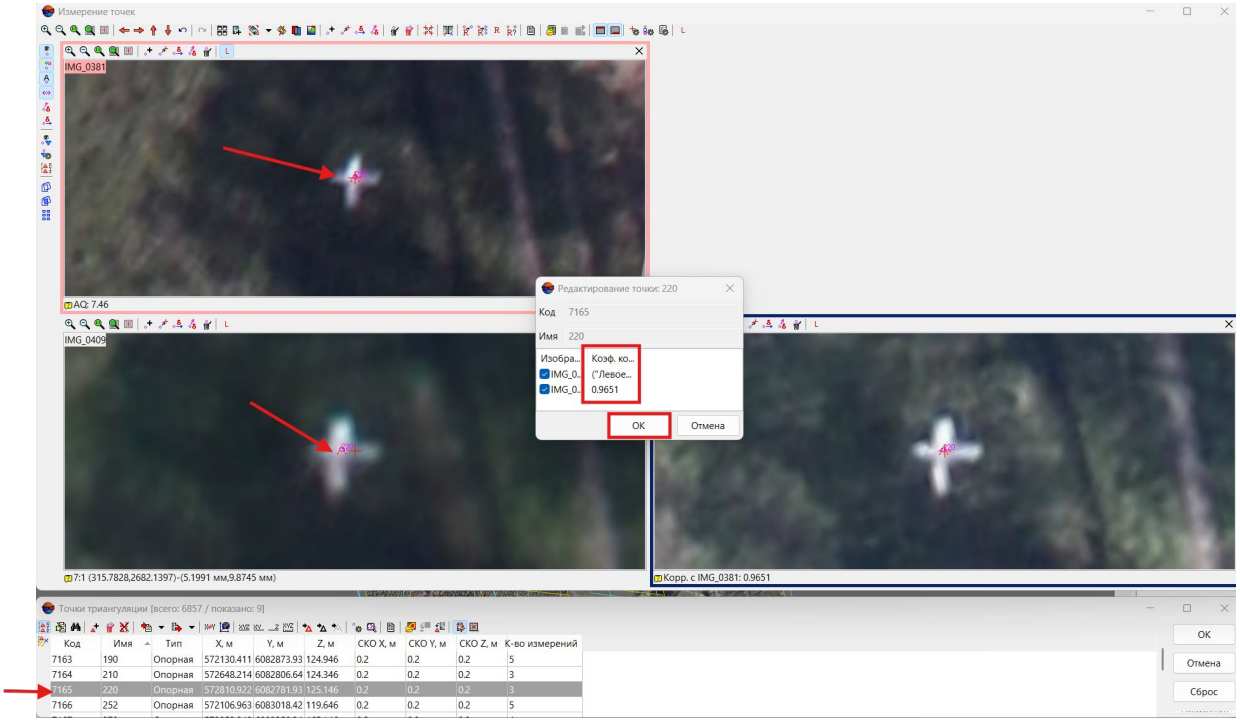


Рисунок 46 – Окно Измерение точек

Далее нужно нажать «Применить» и «ОК». После каждого такого измерения необходимо обязательно переуравнивать проект (рис.47).

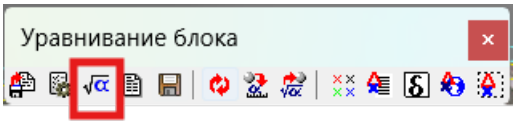


Рисунок 47 – Переуравнивание проекта

Контроль уравнивания проводится по среднему модулю в окне Отчёт графа Ошибки по опорным точкам. (рис.48)

Ошибки по опорным точкам

N	Xcp-Xr	Ycp-Yr	Zcp-Zr	Exy (метр)
допуск:	0.200	0.200	0.200	0.200
190	-0.059	-0.040	-0.165	0.071
210	0.026	-0.022	-0.055	0.034
220	0.087	0.059	-0.140	0.105
252	-0.045	0.129	0.124	0.137
270	-0.016	-0.015	-0.017	0.022
282	0.062	-0.021	0.124	0.065
30	0.095	-0.018	0.168	0.097
350	-0.115	0.011	-0.010	0.116
360	-0.034	-0.075	-0.026	0.082
средний модуль:	0.060	0.043	0.092	0.081
СКО:	0.068	0.057	0.110	0.088
максимум:	0.115	0.129	0.168	0.137
всего точек (разностей):				
9 (	9	9	9	9)

Рисунок 48 – Ошибки по опорным точкам

Файл проверен

После внесённых исправлений, отчет будет получен без ошибок, измерения опорных точек должны находиться в допуске.

Результатом уравнивания блока будет являться получение каталога координат точек триангуляции. (рис.49)

Каталог точек

N	X	Y	Z	Exy	Ez (метр)
опорные					
190	572130.401	6082874.021	124.779	0.084	-0.167
210	572648.316	6082806.580	124.254	0.123	-0.092
220	572811.055	6082781.947	124.994	0.133	-0.152
252	572107.003	6083018.613	119.795	0.190	0.149
270	572052.130	6083250.164	165.122	0.144	-0.024
282	572698.890	6083109.822	135.703	0.065	0.158
30	572463.589	6083118.259	121.907	0.070	0.161
350	572400.986	6083493.480	180.541	0.143	-0.004
360	572732.749	6083445.252	179.119	0.086	-0.027
итого 9 точек					
контрольные					
итого 0 точек					
сгущения					
итого 0 точек					
связующие					
~100	572034.977	6083267.243	166.513		
~10001	572216.276	6082902.033	124.078		
~10006	572093.894	6082890.606	124.292		
~10014	572101.604	6082901.811	124.845		
~10018	572103.525	6082907.260	124.382		
~10024	572197.238	6082931.669	124.837		
~10026	572101.658	6082918.959	124.741		
~10027	572225.063	6082939.261	124.835		
~10034	572138.062	6082932.260	124.744		
~10035	572159.459	6082936.732	124.816		
~10050	572131.851	6082952.508	125.203		

Рисунок 49 – Каталог координат точек триангуляции

Полученный отчет об уравнивании можно сохранить в текстовом формате (*.txt).Вместе с каталогом координат будет получен уравненный блок. (рис.51). По завершению уравнивания необходимо сохранить результаты и закрыть окно процесса уравнивания.

Файл проверен

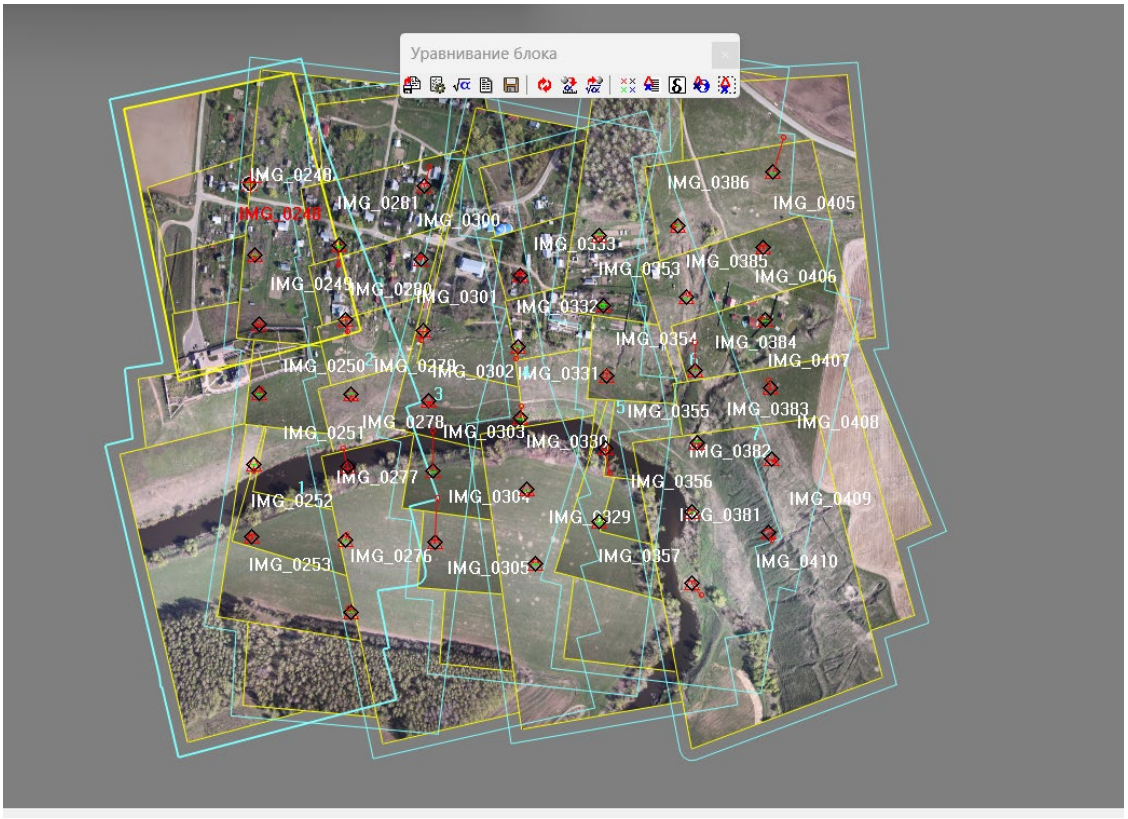


Рисунок 51 – Конечный результат уравнивания блока

В результате выполнения уравнивания снимков, в середине блока контура сходятся, а по краям присутствуют расхождения. Это не является ошибкой, а можно объяснить тем, что съемка выполнялась с БПЛА, опорные точки расположены в середине снимка, а по углам отсутствуют, соответственно, там снимки будут разномасштабные, возникают ошибки и несоответствия линейных контуров по линиям накидного монтажа снимков.

1.8. Область применения уравненного блока

В дальнейшем проделанную работу можно использовать для создания фотоплана и ортофотоплана.

Фотоплан – это фотографическое изображение участка местности, составленное из рабочих площадей трансформированных аэрофотоснимков. Применяется для создания топографических карт

Файл проверен

контурно-комбинированным методом (контурная часть карты получается по аэрофотоснимкам путем создания топографического фотоплана, а изображения рельефа местности наносится на фотоплан в результате измерений на местности) на равнинных территориях [1].

Получившийся блок уравненных снимков подгружается в PHOTOMOD GeoMosaic [2]. Далее выполняются построения и редактирования порезов, сшиваются рабочие площади изображений по связующим точкам, задаются параметры мозаики (выравнивание яркости), выполняется деление на листы. В результате получаем выходной лист мозаики (фотоплан).

Ортофотоплан – это фотографическое изображение участка местности, составленное из рабочих площадей трансформированных аэрофотоснимков с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР). Применяется для создания топографических карт контурно-комбинированным методом на всхолмленных и горных территориях [3].

Создается цифровая модель рельефа в PHOTOMOD (создание матрицы высот), набираются пикеты, строится поверхность TIN (нерегулярная триангуляционная сеть), по этой сетке создается ЦМР. Далее, получившийся блок уравненных снимков подгружается в PHOTOMOD Mosaic, производятся построения областей трансфомирования в автоматическом режиме, подгружается модель ЦМР, создается мозаика. В результате получаем снимок с цифровой моделью рельефа.

Файл проверен

2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ АЭРОФОТОСЪЁМКИ ПОЛУЧЕННОЙ С БПЛА В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ PHOTOMOD AUTOUAS

2.1. Требования к исходным данным для обработки

Для работы в данной программе нужно соблюдать строгие требования для загрузки фотоснимков, так как обработка данных производится автоматически.

2.2.1. Входные данные

Материалы аэрофотосъемки должны быть представлены в форматах *.tiff или *.jpeg, 8 бит, RGB.

Импорт параметров внутреннего и внешнего ориентирования выполняется автоматически из метаданных EXIF исходных изображений (или из отдельного файла) и не требует настройки оператора. Импорт параметров камеры выполняется автоматически из метаданных EXIF исходных изображений (или из отдельного файла).

2.2.2. Требования к файлу, содержащему метаданные

Импорт параметров внутреннего и внешнего ориентирования происходит автоматически из метаданных EXIF или файла, поставляемого с изображениями. При наличии обоих источников предпочтение отдаётся файлу. Он должен находиться в корне папки «Исходные снимки», иметь название eo.csv, разделены поля запятыми, десятичная точка, система координат — WGS84, кодировка — UTF-8. В первой строке должны быть заголовки: Name, Lat, Lon, Alt, порядок важен. В названиях изображений в столбце Name расширения указывать не нужно. [9]

Файл проверен

2.2.3. Требования к файлу, содержащему параметры камеры

Импорт параметров камеры выполняется автоматически из метаданных EXIF исходных изображений (или из отдельного файла). В случае наличия обоих источников параметров камеры — приоритет использования отдан отдельному файлу, поставляющемуся с изображениями.

Данный файл должен соответствовать следующим требованиям:

1) Файл должен быть расположен строго в корне каталога Исходные снимки в файловой системе Windows;

2) Файл должен иметь строго определенные имя и расширение — camera.x-cam.

2.2.4. Требования к внешнему облаку точек (las)

Облако точек LAS можно использовать только при наличии точного пересечения с территорией снимков проекта. При обработке система проверяет это автоматически. Если пересечения нет или невозможно определить систему координат, система выводит соответствующие сообщения. Все требования должны быть выполнены, иначе возникнет ошибка. Несоблюдение условий, например, использование неподходящих фотоснимков, увеличивает время загрузки и вызывает ошибки.

При начале обработки данного проекта использовались неподходящие материалы, которые программа не смогла обработать, (в результате обработки данных возникали ошибки). После исправления координатных данных и выбора подходящих снимков результат стал правильным. Замена исходных данных обеспечила успешное выполнение обработки.

Файл проверен

2.2. Первоначальная настройка

Исходными данными для обработки послужили аэрофотоснимки, предоставленные разработчиками программы PHOTOMOD AutoUAS.

При первом запуске системы открываются окна первоначальной (быстрой) настройки PHOTOMOD AutoUAS.

Первым делом создается папка «временных данных» предназначается для опционального хранения проекта в формате ПО PHOTOMOD для возможной постобработки. Выбрать место для временных данных нужно на диске достаточного объема. (рис.52).

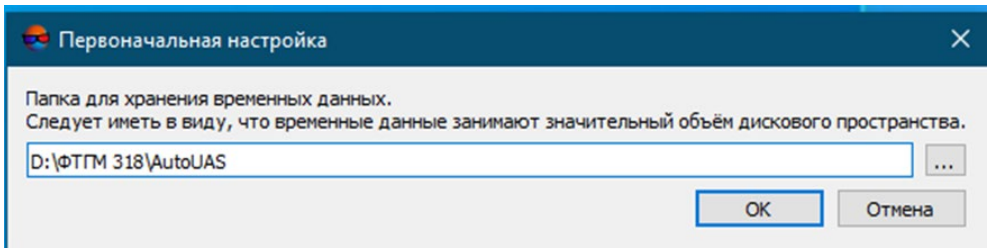


Рисунок 52 – Окно первоначальной настройки

Также выбирается папка для хранения настроек программы. В поле «Папка для хранения настроек» отображается путь к папке AutoUAS, предназначенной для хранения файлов конфигураций. (рис.53).

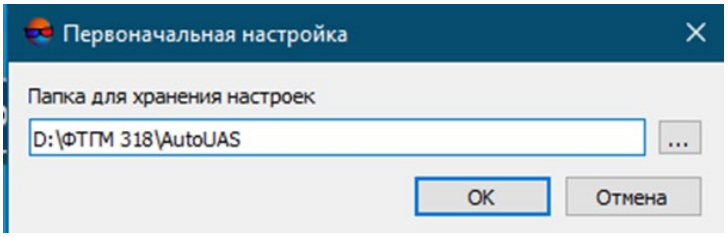


Рисунок 53 – Выбор папки для хранения настроек

Если при быстрой настройке системы папки для хранения ресурсов или папка для хранения настроек не будут указаны — выдается соответствующее сообщение о необходимости подробной настройки PHOTOMOD AutoUAS.

Файл проверен

2.3. Выбор параметров для обработки данных аэрофотосъёмки

На вкладке «Общее» необходимо выбрать папку проекта Проект БПЛА и папку с исходными изображениями для обработки. (рис.54).

Метод обработки выбирается в зависимости от требований выходного продукта и скорости обработки. В данном случае метод обработки был выбран «Точный», чтобы наглядно посмотреть работу программы.

PHOTOMOD AutoUAS обрабатывает только снимки центральной проекции, размером не более 100 Мп, форматов *.tiff или *.jpeg, 8 бит, RGB. Импорт параметров внутреннего и внешнего ориентирования выполняется автоматически из метаданных EXIF исходных изображений (или из отдельного файла) и не требует настройки оператора. Импорт параметров камеры выполняется автоматически из метаданных EXIF исходных изображений (или из отдельного файла).

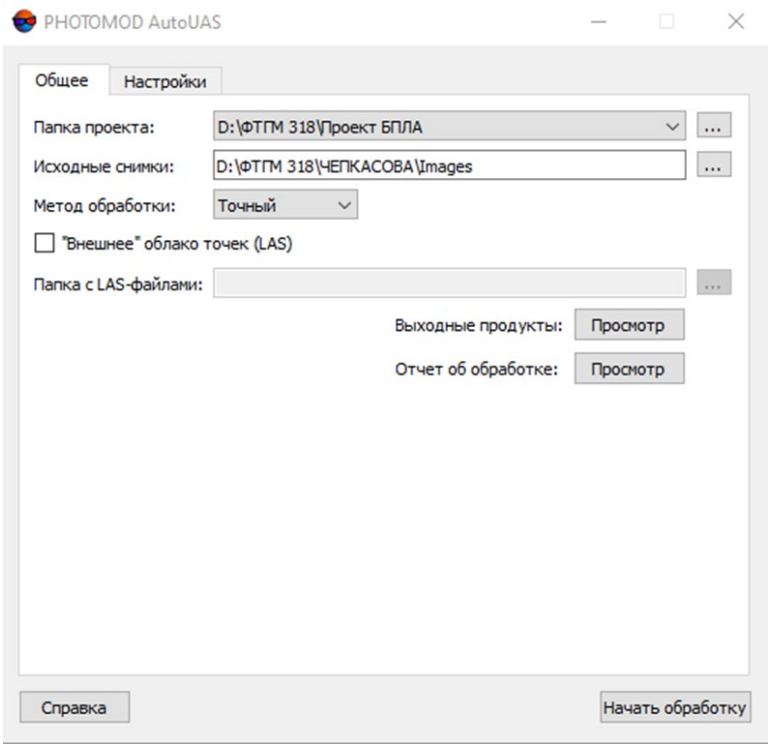


Рисунок 54 – Общие настройки для создания проекта

Файл проверен

Далее в разделе «Настройки» необходимо выполнить настройки для создания последующего ортофотоплана и 3D-модели. (рис.55).

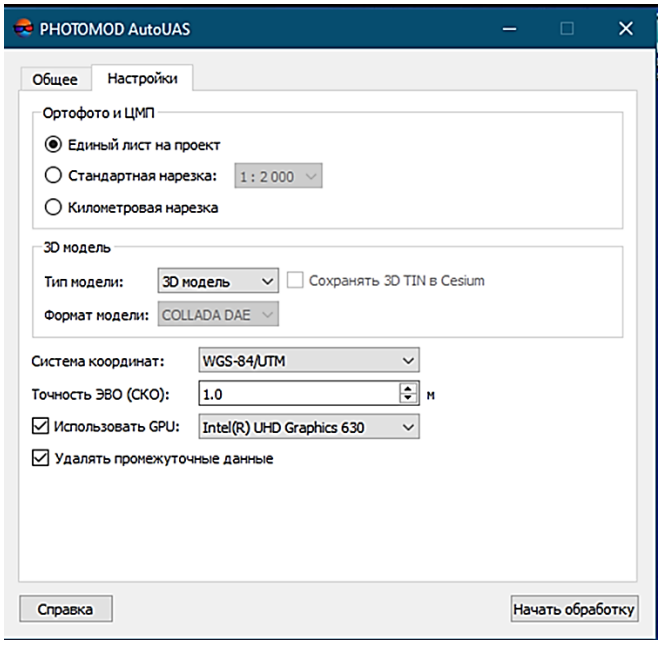


Рисунок 55 – Выбор настроек для создания ортофотоплана и 3D-модели

Закладка Настройки включает разделы: Ортофото и ЦМП. Здесь можно выбрать способ нарезки выходной мозаики: один лист на весь проект, стандартную нарезку по масштабам (от 1:2000 до 1:5000), или километровую — листы 1000x1000 м с координатами в названиях. Также есть выбор типа выходных данных: 3D-модель (по ЦМП) или текстурированная 3D-поверхность (формат B3DM). Для работы с текстурами в Panorama выбирается формат COLLADA DAE. В списке систем координат можно выбрать нужную. Поле «Точность ЭВО» задает погрешность в метрах: 10 м для навигационных центров, 1 м — для точных, 0.1 м — для RTK/PPK. При включении «удалять промежуточные данные» система поэтапно очищает задачи по мере их завершения; при ошибках рекомендуется проверить «логи». [9]

Файл проверен

После настройки параметров проекта появляется окно загрузки файлов. При соблюдении всех требований, описанных ранее, появляется окно, показывающее, что при обработке ошибок не возникло.

2.4. Анализ полученных данных

После нажатия кнопки «ОК» по окончанию обработки данных открывается инструмент просмотра выходных данных — 3D окно. (рис.56).

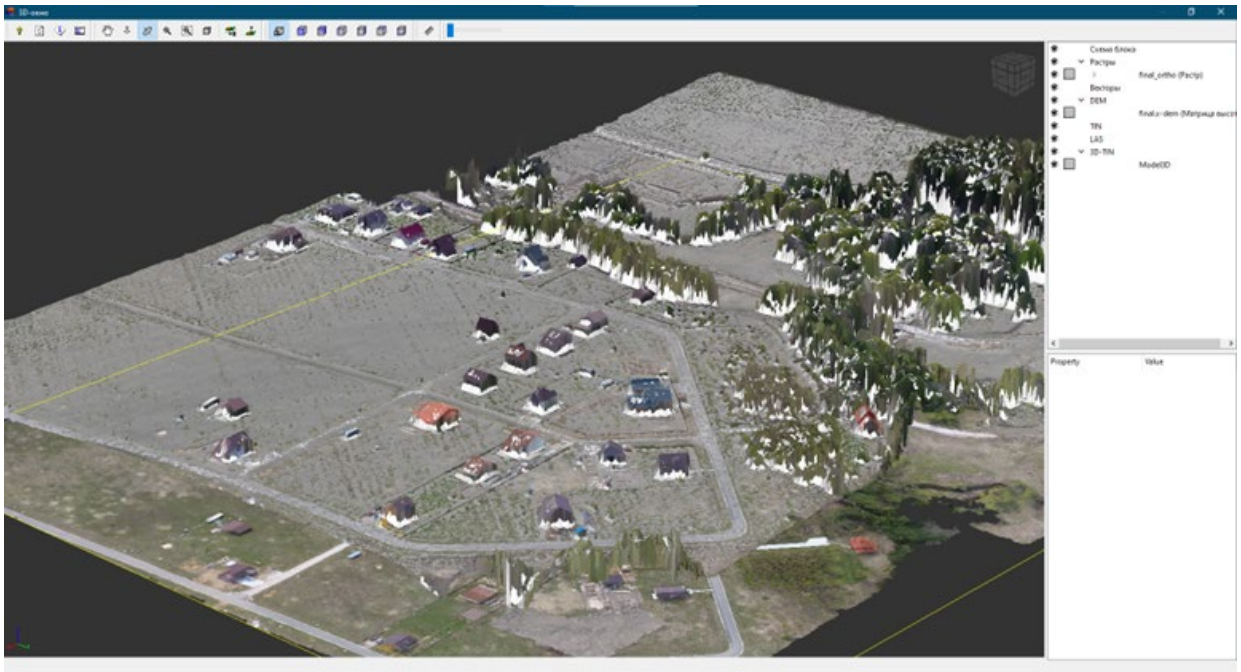


Рисунок 56 – Окно 3D-модели

3D-окно предназначено для контроля результатов обработки и включает панель инструментов, рабочую область для просмотра данных (выходные результаты, оси координат, проекционный куб), диспетчер слоев, лог сообщений и таблицу свойств выбранного слоя. Панель инструментов содержит основные команды для работы. (рис.57).

Файл проверен

Кнопки	Назначение
	позволяет обновить **3D-окно**
	позволяет отобразить системную информацию о 3D-окне
	позволяет отобразить логи системных сообщений
	позволяет перемещать область просмотра 3D-сцены в произвольном направлении
	позволяет перемещать область просмотра 3D-сцены перпендикулярно плоскости экрана
	позволяет включить режим вращения области просмотра (точка, вокруг которой осуществляется вращение, устанавливается щелчком **левой клавиши мыши** и отображается в виде синей сферы)
	позволяет увеличить/уменьшить масштаб области просмотра
	позволяет увеличить масштаб определенной области просмотра 3D-сцены внутри прямоугольника
	позволяет осуществить полное отображение всех объектов 3D-сцены
	позволяет переместить центр сцены при помощи перемещения курсора, нажатия и удерживания кнопки мыши
	позволяет растянуть/сжать 3D-модель по высоте Z (+/-) при помощи перемещения курсора, нажатия и удерживания кнопки мыши, а так же отображает поля ввода **масштаб** и **сдвиг**
	позволяет включить режим перспективы, то есть изображение трехмерного пространства на двухмерной плоскости
, , , , , и	позволяют осуществлять вращение массива данных
	позволяет открыть окно **Измерения**

Рисунок 57 – Обозначения кнопок панели инструментов

В PHOTOMOD AutoUAS есть возможность управления слоями через Диспетчер слоев в 3D-окне. Поддерживаются слои: ортофото, векторы, ЦМР (DEM), TIN, облака LAS и текстурированные 3D TIN. В диспетчере показывается активный слой, который можно выбрать для отображения в рабочей области. (рис.58, 59, 60).

Файл проверен

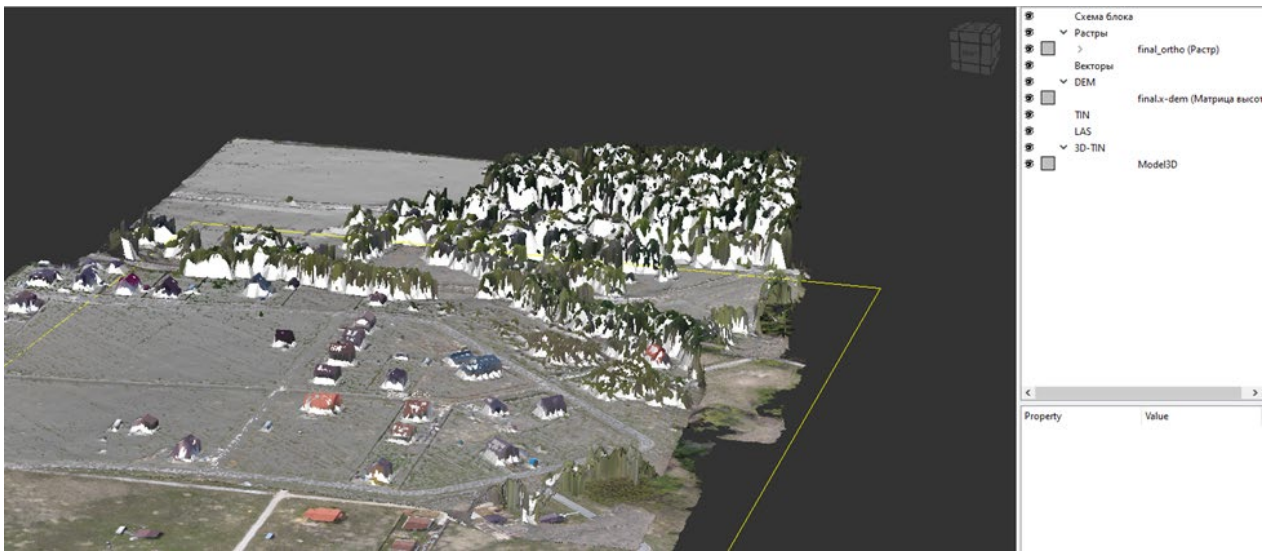


Рисунок 58 – Вид рабочей области при всех активных слоях



Рисунок 59– Вид рабочей области при выключенном слое ЦМР

Файл проверен

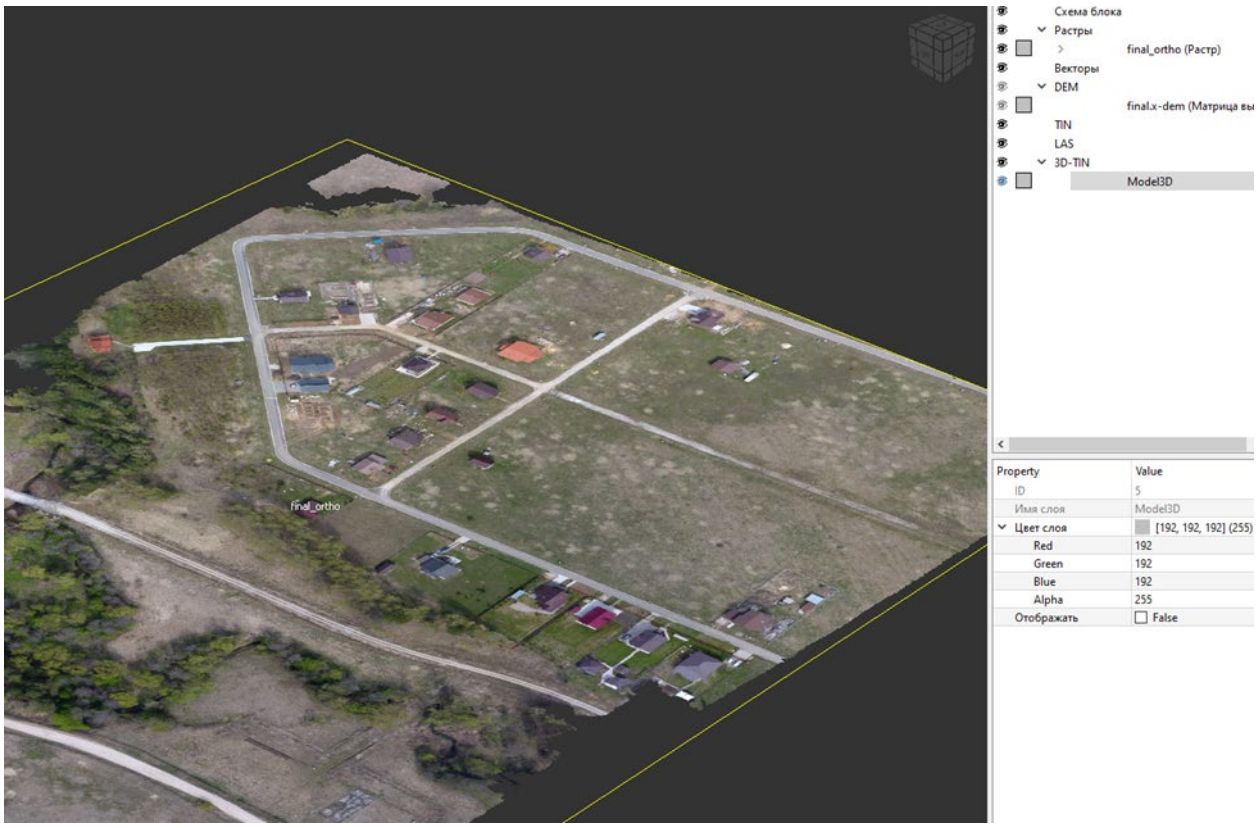


Рисунок 60 – Вид рабочей области при выключенном слое 3D-модели

В программе также предусмотрена возможность проведения измерений в пределах 3Dсцены. Для этого служит окно Измерения. (рис.61).

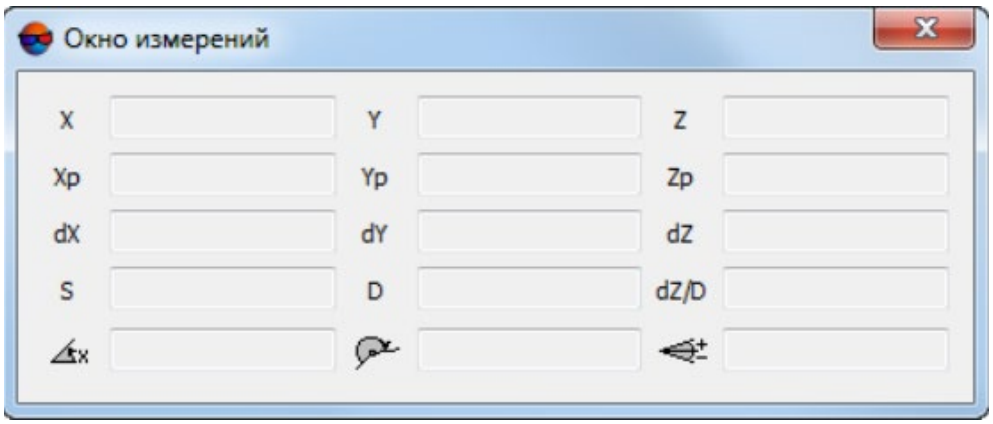


Рисунок 71 – Окно измерений

Окно отображает координаты маркера: X, Y, Z — текущие геодезические координаты; Xp, Yp, Zp — предыдущие значения; dX, dY, dZ — приращения сегмента. Также есть параметры сегмента: S — длина

Файл проверен

D — горизонтальное расстояние, dZ/D — уклон. Это позволяет выполнять измерения на снимке.(рис.62).

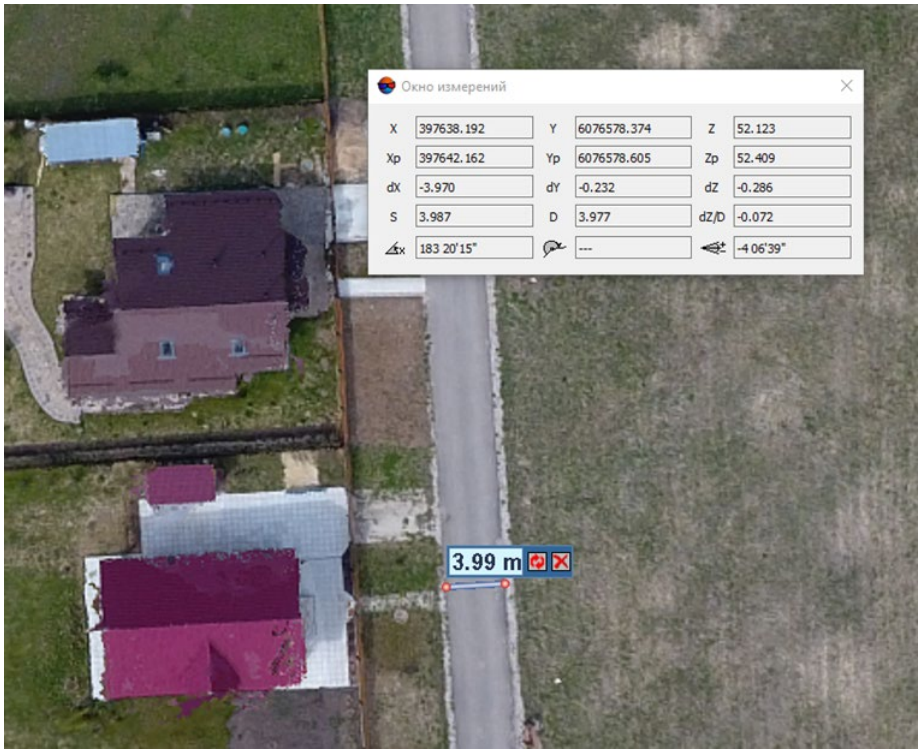


Рисунок 62 – Измерение дороги в программе PHOTOMOD AutoUAS

Также после обработки проекта автоматически загружается отчет об обработке блока. В него входят разделы свойства проекта и исходные данные (рис.63), параметры обработки для просмотра параметров автоматического измерения связующих точек и уравнивания блока (рис.64), оценка точности элементов внешнего ориентирования (рис.65), расхождение на точках, куда входят расхождение по стереопарам и ошибки на снимках (рис.66).

Файл проверен

Отчет по обработке блока

Версия PHOTOMOD 7.4.4157 AutoUAS x64

Свойства проекта и исходные данные

Проект	Проект БПЛА
Время создания отчета	16 марта 2024 г. 10:39:04
Камеры	FC330(poly) [selfcal]
GSD, метр	0.068
Система координат проекта	WGS 84/UTM 37N
Диапазон высот, метр	105.100 - 105.100
Площадь, метр²	235 287.141
Количество изображений	26
Количество маршрутов	3
Количество связующих точек	3 590
Количество опорных точек	0
Количество контрольных точек	0

Рисунок 63 – Раздел свойств проекта и исходных данных

В разделе свойств указываются: название проекта, дата отчета, данные о камерах, GSD (метры), система координат, диапазон высот, площадь, число маршрутов и снимков, количество контрольных точек, а также схема блока и высоты.

Параметры обработки

Параметры обработки	Значение
Тип отчета	----
Конфигурация коррелятора	----
Калибровать камеру	Выкл
Выполнить уравнивание	Вкл
Априорная точность измерений на снимках, пикс	2.500
Присвоить камеру после калибровки	Вкл
Удалять промежуточные данные	Вкл
Параметры уравнивания	
Метод начального приближения:	По схеме блока
Метод уравнивания:	Связок
Учет систематических ошибок:	Не компенсировать
Тип калибровки:	Нет
Время обработки	----

Рисунок 64 – Раздел параметров обработки

Раздел отчета Оценка точности элементов внешнего ориентирования для просмотра и анализа ошибок на линейных и угловых элементах внешнего ориентирования. Содержит следующие таблицы:

1) Опорные элементы внешнего ориентирования;
2) Контрольные элементы внешнего ориентирования;

Файл проверен

3) Систематические ошибки.

Оценка точности элементов внешнего ориентирования



Опорные элементы внешнего ориентирования

Тип ошибки	X, метр	Y, метр	Z, метр	Omega, °	Phi, °	Kappa, °
СКО	0.089	0.362	1.348	0.000	0.000	0.000
Ср. модуль	0.067	0.208	1.075	0.000	0.000	0.000
Максимум	0.224	1.559	3.016	0.000	0.000	0.000

Контрольные элементы внешнего ориентирования

Тип ошибки	X, метр	Y, метр	Z, метр	Omega, °	Phi, °	Kappa, °
Контрольные элементы внешнего ориентирования отсутствуют						

Систематические ошибки

Маршрут	X, метр	Y, метр	Z, метр
Поиск gps-систематики не производился			

Рисунок 65 – Раздел оценка точности элементов внешнего ориентирования

Расхождения на точках

Расхождения по стереопарам

Тип ошибки	Ex, метр	Ey, метр	Exy, метр
От среднего			
СКО	0.062	0.046	0.130
Ср. модуль	0.042	0.029	0.094
Максимум	0.536	0.461	0.755
Взаимные			
СКО	0.087	0.060	0.178
Ср. модуль	0.062	0.040	0.133
Максимум	0.938	0.643	1.206

Ошибки на снимках

Тип ошибки	Ex, пикс	Ey, пикс	Exy, пикс
СКО	0.343	0.294	0.451
Ср. модуль	0.272	0.226	0.394
Максимум	1.140	1.174	1.220

Рисунок 66 – Раздел расхождения на точках

Файл проверен

2.5. ВЫХОДНЫЕ ФАЙЛЫ

Форматы выходных данных:

Ортофотопланы: TIFF с привязкой *.tfw или GeoTIFF, 8 бит, RGB;

- Модели местности: одноканальный GeoTIFF с плавающей точкой, 64 бита;
- Трехмерные модели: *.b3dm.

Обработанный проект хранится в папке с структурой:

- DSM — цифровая модель поверхности (*.tif);
- Interm — промежуточные модели и ортофотопланы;
- Reports — отчёты (AeroReport.pdf, adjust_report.txt);
- TIN3D — 3D модели;
- LAS — облака точек;
- TrueOrtho — финальные ортофотопланы;
- *.xini — параметры обработки;
- *.x-ref-system — система координат. [9]

По полученному отчету (AeroReport.pdf) можно определить для какого именно масштаба можно использовать полученный ортофотоплан. Полученная 3D-модель (без опорных точек) служит больше для наглядности. По данным из отчета AeroReport.pdf показывают, что полученный в практической части ортофотоплан можно использовать для создания топографического плана контурно-комбинированным способом масштаба 1:2000.

Топографические карты детально и с необходимой точностью отображают населённые пункты, здания, промышленные, сельскохозяйственные, культурные и коммунальные объекты, дорожную сеть, гидрографические элементы, рельеф, растительность и границы. Все элементы на картах должны быть стандартизированы и наноситься по

Файл проверен

координатам. Рельеф изображают с помощью горизонталей и условных знаков, указывая высоты, глубины и направления скатов. Для создания таких планов используют аэрофотосъёмку, выполненную в соответствии с техническими требованиями. Масштаб 1:2000 применяется при разработке планов городов, промышленных объектов, горных предприятий и месторождений, а также для проектных решений в энергетике и гидротехнике.[9]

Файл проверен

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие программные комплексы используются для обработки данных аэрофотосъемки, полученных с БПЛА?
2. Какие преимущества отмечаются при использовании программного обеспечения PHOTOMOD UAS?
3. Какие недостатки связаны с использованием PHOTOMOD AutoUAS?
4. Какие требования предъявляет PHOTOMOD AutoUAS к исходным данным?
5. В чем заключается преимущество сокращения сроков полевых работ при использовании PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AutoUAS?
6. Какие методы обработки аэротофотоснимков были использованы в PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AutoUAS?
7. Перечислите основные этапы обработки аэрофотоснимков с помощью программных комплексов PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AutoUAS?
8. Как могут применяться полученные данные обработки аэрофотоснимков из программных комплексов PHOTOMOD UAS и PHOTOMOD AutoUAS в аэротопографическом производстве?

Файл проверен

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы был изучен процесс обработки аэрофотоснимков, полученных с БПЛА в программных обеспечениях PHOTOMOD AutoUAS и PHOTOMOD UAS.

В процессе выполнения практической части было отмечено, что программное обеспечение PHOTOMOD UAS:

– является наилучшей программой для обработки данных аэрофотосъёмки, полученных с БПЛА, с точки зрения возможности внесения изменений в процесс обработки и контроля качества;

– позволяет сократить сроки полевых работ;

– обладает методами полуавтоматической обработки информации;

– работает с разными типами исходных данных, позволяя обрабатывать большой объём информации.

При работе с программным обеспечением PHOTOMOD AutoUAS также можно выделить преимущества и недостатки использования.

К преимуществам можно отнести:

– Простой и понятный интерфейс программы;

– Процесс обработки данных занимает меньшее количество времени в сравнении с ручной обработкой данных.

К недостаткам в свою очередь можно отнести:

– Большой объем занимаемого компьютерного пространства;

– Строгие требования к исходным данным, если они не соблюдены, то программа не даст успешно завершить обработку;

– Довольно низкое качество полученного ортофотоплана.

Файл проверен

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козин Е.В, Карманов А.Г, Карманова Н.А. ФОТОГРАММЕТРИЯ. [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие – ИТМО, Санкт-Петербург, 2019. – 142 с. –
   Электрон. дан. Режим доступа: https://books.ifmo.ru/file/pdf/2455.pdf
2. Краснопевцев Б.В. ФОТОГРАММЕТРИЯ. [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие – МИИГАиК, Москва, 2008. – 160 с. –
   Электрон. дан. –
   Режим доступа: https://www.miigaik.ru/upload/iblock/eec/eec5799a3ead6011d48e5c3c2e4a7f2c.pdf
3. Фототриангуляция. [Электронный ресурс] / Виды точек. –
   Электрон. дан. –
   Режим доступа: https://studfile.net/preview/2905571/page:2/
4. Маркировка опознаков. [Электронный ресурс] / Виды опознаков. –
   Электрон. дан. – Режим доступа: https://pandia.org/text/79/095/68829-6.php
5. Ракурс. [Электронный ресурс] / PHOTOMOD UAS. –
   Электрон. дан. – Режим доступа: https://racurs.ru/program-products/photomod-uas/
6. Цели аэрофотосъемки ([Электронный ресурс]/ Редактирование Изображений. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://gorizond.ru/celi-aerofotosemki/
7. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования ([Электронный ресурс]/ Редактирование Изображений. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-2/

Файл проверен

8. Руководство пользователя PHOTOMOD AutoUAS ([Электронный ресурс]/ Редактирование Изображений. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://racurs.ru/upload/iblock/618/lkq1yxnmzexfoxaflipkr279mbi5ua2r/autouas_ru.pdf/
9. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. М., Недра 1982.

Файл проверен