

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ФОТОГРАММЕТРИИ

DETERMINATION OF DEFORMATIONS OF THE CAR USING PHOTOGRAMMETRY

УДК 334.54.032+338.121.15

Ядров Артем Романович, Бакалавр кафедры геодезии и дистанционного зондирования аэрокосмических съёмок и фотограмметрии, Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва

Yadrov A.R. artom55555@gmail.com

Аннотация

Современные технологии в области мобильной фотографии и обработки изображений открывают новые возможности для различных сфер, включая автомобильную промышленность. Одной из актуальных задач является контроль и оценка деформаций кузова автомобилей. Традиционные методы измерения деформаций, такие как механические или оптические системы, зачастую требуют значительных временных и материальных затрат, а также не всегда обеспечивают необходимую точность и детализацию. В этом контексте использование фотограмметрии с применением смартфонов представляется перспективным решением, обеспечивающим высокую доступность и оперативность проведения измерений.

Annotation

Modern technologies in the field of mobile photography and image processing open up new opportunities for various fields, including the automotive industry. One of the urgent tasks is the control and assessment of deformations of the car body. Traditional methods of measuring deformations, such as mechanical or optical systems, often require significant time and material costs, and also do not always

provide the necessary accuracy and detail. In this context, the use of photogrammetry using smartphones seems to be a promising solution that ensures high availability and efficiency of measurements.

Ключевые слова: ГИС – Геоинформационная система, НЛС – Наземное лазерное сканирование, СКО – Средняя квадратическая ошибка, MAX – Maximum (Максимум), MIN – Minimum (Минимум), SGM – Semi-global matching (Метод полуглобального отождествления), SIFT – Scale Invariant Feature Transform (Масштабно-инвариантная трансформация признаков), TLS – Terrestrial Laser Scanning (Наземное лазерное сканирование), TIN – Triangular Irregular Networks (Триангуляционная нерегулярная сеть), 3D – 3 – Dimensional (Трехмерный)

Keywords: GIS – Geoinformation system, GLS – Ground-based laser scanning, ASE - The average square error, MAX – Maximum (Maximum) , MIN – Minimum (Minimum), SGM – Semi-global matching (Semi-global identification method), SIFT – Scale Invariant Feature Transform (Scale-invariant transformation of features), TLS – Terrestrial Laser Scanning (Ground-based laser scanning) , TIN – Triangular Irregular Networks (Triangulation Irregular Network), 3D – 3 – Dimensional (Three-dimensional)

Методика фотограмметрии с близкого расстояния основана на аналитическом представлении механизма формирования изображения и извлечения пространственной информации путем вычислений на фотографиях. В этой работе рассматриваются основы фотограмметрии с близкого расстояния и применение фотограмметрии для определения деформаций кузова автомобиля. Методика включает:

1. Моделирование 3D-графики кузова автомобиля для визуализации и анализа;
2. Измерение геометрических размеров и деформаций кузова;
3. Создание и дополнение 3D-графики на основе фотограмметрических данных для технического анализа.

Современные методы 3D-моделирования, основанные на использовании систем автоматизированного проектирования (САПР) или специализированного программного обеспечения для разработки виртуальной реальности (VR), требуют значительных предварительных подготовок и геометрических спецификаций объекта, а также являются трудоемкими.

Предлагаемый метод использует цифровую камеру для получения изображений автомобиля и аналитической обработки данных, что значительно снижает трудозатраты на моделирование. Этот метод особенно полезен в случаях, когда проектные чертежи или геометрические спецификации недоступны, либо объект не может быть измерен непосредственно.

Метод 3D-моделирования на основе фотографий является альтернативой традиционным методам измерения. В отличие от использования обычной измерительной ленты, применение фотограмметрии экономически выгодно и безопасно, так как измерения проводятся на 3D-модели, созданной на основе фотографий. Это особенно актуально для измерения элементов, расположенных в труднодоступных или опасных зонах, и для быстрой проверки размеров кузова автомобиля в целях контроля качества.

Погрешности измерений фотометода обусловлены:

1. Систематической ошибкой, вызванной искажениями объектива камеры;
2. Случайной ошибкой, вызванной человеческим фактором.

Сравнивая уровень точности метода с требуемым уровнем точности для конкретного применения, инженер принимает окончательное решение о применимости фотограмметрического метода.

1 Инженерная фотограмметрия

В современном строительстве и инженерных изысканиях, активно применяется метод наземной фотограмметрической съёмки. Съёмка

производится с помощью специальных цифровых камер, оснащенных инерциальными навигационными системами и уровнемерами, что даёт возможность точно позиционировать камеры в необходимом положении. Эти камеры обеспечивают высокую точность и детализацию изображений, что критически важно для создания точных цифровых моделей местности (ЦММ) и трёхмерных реконструкций объектов.

Современное оборудование для фотосъёмки часто включает GNSS-модули для точной геопривязки снимков (рис. 1.1) и программное обеспечение для автоматизированной обработки данных. Это позволяет не только точно фиксировать положение камеры, но и интегрировать полученные данные в геоинформационные системы (ГИС) и системы управления строительством.



Рис. 1 – Sony Alpha 7R IV с функцией геотегирования

В некоторых случаях для съёмки могут использоваться не только специализированные, но и потребительские фотоаппараты и видеокамеры. Хотя они уступают профессиональным устройствам по точности и надёжности, они могут быть полезны для предварительных обследований и визуального мониторинга состояния объектов.

В инженерной фотограмметрии получили широкое распространение два метода: планарная фотограмметрия и стереофотограмметрия. Для определения координат точек конструкции, параллельной плоскости снимка, применяют первый метод, и съёмка, в таком случае, осуществляется с одной

позиции камеры. Этот метод находит широкое применение в задачах, где требуется высокая точность определения двухмерных координат точек.

При необходимости мониторинга деформаций объекта, фотограмметрические снимки выполняются неоднократно с одного и того же положения камеры. Такой метод съемки называется съемкой с нулевым базисом, поскольку позиция камеры остается неизменной, что позволяет точно отслеживать изменения положения точек на объекте со временем.

Стереофотограмметрия, в свою очередь, используется для определения трехмерных координат точек сооружения в системе XYZ. Этот метод предполагает съемку объекта с двух или более различных точек, между которыми существует известное расстояние, называемое базисом съемки. Современные стереофотограмметрические системы используют алгоритмы машинного зрения, такие как Structure from Motion (SfM) и Multi-View Stereo (MVS), для автоматической реконструкции 3D-моделей на основе множества снимков, сделанных с разных углов.

Как правило, для съёмки используют горизонтальный базис фотографирования, но нередко применяют и вертикальный, например для высоких зданий (рис. 1.2). В таком виде, следующая станция устанавливается над предыдущей. Это позволяет создавать точные трехмерные модели объектов любой сложности и высоты.

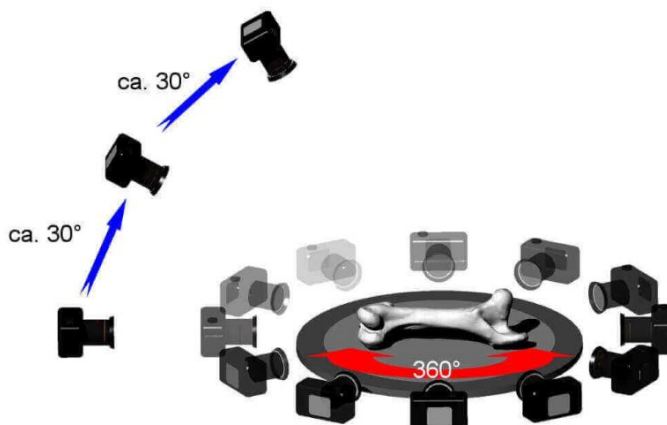


Рис. 2 – Пример предметной съёмки с различными базисами

Современные технологии также включают использование беспилотных летательных аппаратов (дронов), оснащенных высокотехнологичными камерами и сенсорами (рис. 1.3). Дроны позволяют выполнять съемку с различных ракурсов и высот, что значительно расширяет возможности стереофотограмметрии и повышает точность получаемых данных.



Рис. 3 - DJI Phantom 4 RTK

Точность фотограмметрических измерений, как правило, зависит от множества факторов, связанных как с оборудованием, так и с методологией проведения съемки. В первую очередь, следует отметить, что качество и разрешение камер играют ключевую роль. Кроме того, оптические характеристики объективов, такие как дисторсия и хроматические аберрации, также влияют на точность измерений.

Следует подчеркнуть, что геометрия съемки является так же критически важным аспектом. В частности, чем больше базис, тем выше точность, однако чрезмерно большие углы могут привести к потерям в перекрытии снимков. Также важно учитывать, что точная калибровка камер необходима для определения внутренних и внешних параметров, таких как фокусное расстояние, центр проекции и коэффициенты искажений, а также для определения позиции и ориентации камеры. Такие параметры как

освещенность, погодные условия и качество поверхности объектов могут существенно изменять точность. Наличие теней, бликов и других помех на изображениях, безусловно, может усложнить процесс точного распознавания и корреляции точек.

Следует также отметить, что процесс обработки и постобработки данных является еще одним важным фактором. Как и плотность и точность опорных точек, значительно влияют на точность измерений. В частности, наличие заранее известных координат этих точек и их равномерное распределение по всей площади съемки повышают общую точность результатов.

Таким образом, точность фотограмметрических измерений, в конечном итоге, является результатом комплексного взаимодействия технических характеристик оборудования, геометрии съемки, качества алгоритмов обработки и условий проведения съемки.

2 Особенности съёмки моделей

В процессе разработки и испытания новых типов конструкций и сооружений активно используется метод тестирования масштабных моделей, часто выполненных в масштабе 1:5 по отношению к их реальной величине. Для исследования таких моделей с высокой точностью применяется современная фотограмметрия. Этот метод базируется на использовании передовых цифровых камер, инерциальных навигационных систем (INS), лазерных дальномеров и GPS/ГЛОНАСС технологий, аналогично съемке реальных объектов и топографическим исследованиям.

Современные фотограмметрические системы включают алгоритмы Structure from Motion (SfM) и Multi-View Stereo (MVS), которые позволяют создавать высокоточные трехмерные модели исследуемых конструкций.

Structure from Motion (SfM) и Multi-View Stereo (для создания трехмерных моделей MVS) — это два связанных метода, используемых на

объектах на основе набора двумерных изображений. SfM восстанавливает трехмерную структуру объекта и определяет параметры камеры из серии фотографий, сделанных с разных точек зрения. Он использует ключевые точки на изображениях для вычисления их положения в пространстве и ориентации камеры. MVS, в свою очередь, использует результаты SfM для создания плотной трехмерной модели. Этот метод строит облако точек и затем создает детализированную поверхность и текстуры объекта, используя множество изображений с различных углов. В итоге, оба метода обеспечивают высокую точность и детализацию трехмерных моделей, применяемых в различных областях, включая архитектуру, робототехнику и виртуальную реальность.

Эти технологии обеспечивают автоматическую калибровку и обработку данных, что значительно повышает точность и скорость получения результатов. Также, для создания облаков точек и высокоточных 3D моделей используются наземные лазерные сканеры, что позволяет детально исследовать геометрию и поведение масштабных моделей под различными нагрузками.

В условиях лабораторных исследований масштабные модели могут быть дополнительно оборудованы маркерами и датчиками, которые помогают в точной привязке фотограмметрических данных и их последующей интерпретации. Использование беспилотных летательных аппаратов (дронов) с высокотехнологичными камерами позволяет проводить съемку с различных ракурсов и высот, что обеспечивает полное покрытие и высокую детализацию моделей.

Исследование моделей обычно применяется для определения деформаций на протяжении всего времени приложения нагрузки в различных точках модели. Традиционные механические средства измерения деформаций, как правило, не могут обеспечить требуемую точность. Важной особенностью фотограмметрического метода исследования модели является возможность

синхронного анализа во всех точках модели и в любом направлении одновременно.

Кроме того, использование маркеров и датчиков на модели может улучшить точность привязки фотограмметрических данных, обеспечивая еще более точное измерение деформаций (рис. 1.4). Интеграция данных с системами информационного моделирования зданий (BIM) позволяет проводить комплексный анализ и визуализацию результатов.



Рис. 4 – Съёмка автомобиля со специальными марками

Фотограмметрические съемки моделей обычно проводятся на сравнительно малых расстояниях, что требует учета специфических особенностей таких съемок. Прежде всего, необходимо обеспечить точную оптическую сопряженность между объектом и его изображением.

Современные фотограмметрические системы для съемки на малых расстояниях часто включают использование цифровых камер с автофокусом и возможностью изменения фокусного расстояния. Эти камеры обеспечивают высокую гибкость и точность при съемке моделей, что особенно важно для получения детализированных 3D-моделей.

Для достижения наилучших результатов в съемках на малых расстояниях используется технология Structure from Motion (SfM), которая позволяет строить высокоточные трехмерные модели объектов. Современные камеры оснащены высокоразрешающими сенсорами и стабилизаторами изображения, что минимизирует искажения и улучшает качество съемки.

Для обеспечения необходимой точности фотограмметрических измерений на близких расстояниях требуется систематический контроль внешнего ориентирования на основе контрольных линейных измерений и масштабных отрезков на объекте съемки. Высоты точек определяются с использованием современных методов геометрического нивелирования относительно точных координатных меток, полученных с помощью фотограмметрических систем высокой точности. Требования к точности определения размеров и форм объектов фотографирования значительно повышаются в современной практике. Измерения моделей должны проводиться с точностью до десятых или сотых долей миллиметра, что требует применения передовых методов съемки, а также точного определения параметров внутреннего и внешнего ориентирования камер. Тщательная организация и выполнение всех операций необходимы для минимизации различных источников погрешностей и обеспечения высокой точности фотограмметрических измерений.

3 Классификации цифровых камер

Современные цифровые камеры уже не просто доминируют на рынке, они практически изгнали из обихода традиционные пленочные аппараты (рис. 1.5). Это стало возможным благодаря нескольким причинам. Для того чтобы запечатлеть качественное изображение, необходимо тщательно настроить параметры съемки: выбрать правильную скорость затвора, подобрать оптимальное значение диафрагмы, установить режим вспышки или, возможно, применить оптический фильтр. Однако даже самые точно настроенные параметры не гарантируют идеального результата, поскольку

качество изображения зависит от светочувствительной поверхности – носителя информации.



Рис. 5 – Пример современных цифровых камер

Пленочные материалы, используемые в традиционных фотоаппаратах, часто обладают неоднородной светочувствительностью и могут подвергаться деформации (рис. 1.6). Это усложняет процесс коррекции изображений и снижает их качество. Более того, в современных условиях обработка фотографий происходит на цифровых фотограмметрических станциях (ЦФС), что требует предварительного сканирования пленки. Однако этот процесс часто сопровождается потерей качества и точности изображений.

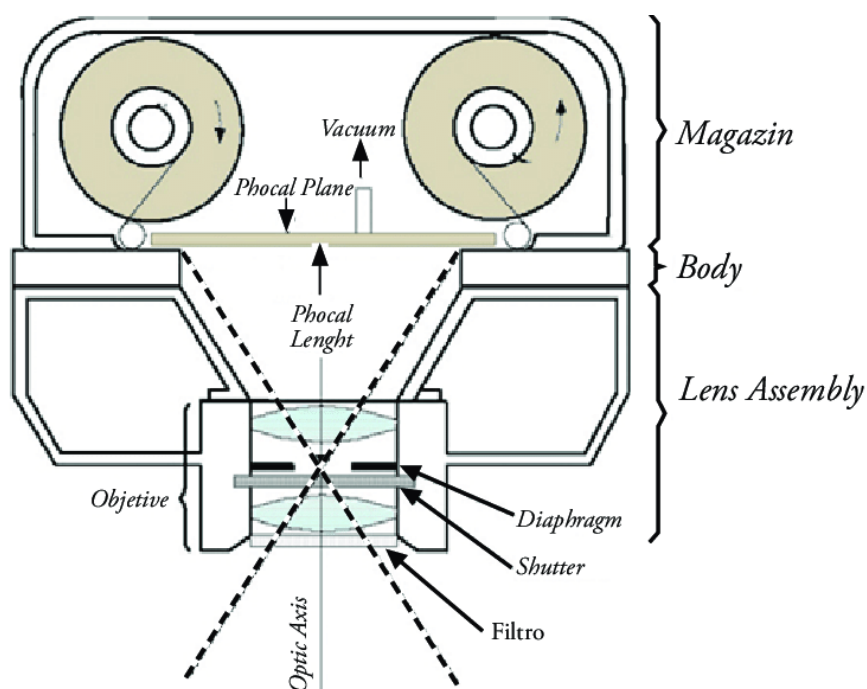


Рис. 6 – Процесс записи аналогового изображения

Процесс получения изображений с использованием цифровых камер отличается от аналоговых в нескольких аспектах. Первоначально, в цифровой камере изображение фиксируется сенсором изображения, который преобразует световые сигналы в цифровые данные. Этот процесс, известный как дискретизация, позволяет получить цифровое изображение, состоящее из пикселей с определенными яркостными и цветовыми значениями. В отличие от аналоговых камер, где изображение сохраняется на пленке, цифровые камеры используют цифровые носители информации, такие как карты памяти, для хранения полученных данных. Это обеспечивает более удобный доступ к изображениям и возможность их мгновенного просмотра и обработки.

Технология цифровой обработки изображений также играет важную роль в процессе съемки с использованием цифровых камер. Функции цифровой обработки, такие как автоматическая экспозиция, баланс белого и цифровой зум, могут быть применены к изображению непосредственно в камере, что позволяет получить более качественные фотографии без необходимости дополнительной обработки.

В целом, процесс получения снимков с использованием цифровых камер характеризуется более быстрым и удобным получением изображений, а также более широким спектром возможностей цифровой обработки, что способствует повышению качества и эффективности фотографического процесса.

В связи с этим, не удивительно, что произошло замещение аналоговых фотоаппаратов цифровыми.

Цифровые камеры классифицируются по нескольким критериям, и одной из самых важных и распространённых является классификация по размеру результирующего изображения. Этот подход учитывает разрешение матрицы камеры, что существенно влияет на качество и детализацию получаемых снимков. Существуют **крупноформатные камеры**, которые оснащены матрицами с разрешением от 150 до 200 мегапикселей. Эти камеры предназначены для высокоточной профессиональной съёмки, где требуется максимальная детализация, например, в аэрофотосъёмке, картографии и студийной фотографии. Их использование оправдано в ситуациях, где каждое мельчайшее подробность имеет значение. **Среднеформатные камеры** обладают матрицами с разрешением от 60 до 80 мегапикселей. Эти камеры обеспечивают высокое качество изображений и применяются в профессиональной фотографии, включая студийные и коммерческие съёмки, где важны высокая детализация и цветопередача. Среднеформатные камеры предоставляют фотографам возможность создавать изображения высокого уровня при относительно меньшей стоимости по сравнению с крупноформатными камерами. Существуют также **суперсреднеформатные** (рис. 1.7) камеры, которые имеют матрицы с разрешением от 90 до 140 мегапикселей. Эти камеры представляют собой более доступные и облегченные версии крупноформатных камер и предлагают отличное соотношение цены и качества. Они идеально подходят для профессионалов,

которые нуждаются в высококачественных изображениях, но при этом хотят минимизировать затраты.



Рис. 7 - UltraCam Lp (Microsoft-Vexcel)

Наконец, малоформатные камеры с матрицами менее 50 мегапикселей являются наиболее распространёнными и используются в любительской, полупрофессиональной и даже в некоторых профессиональных съемках. Эти камеры удобны, компактны и более доступны по цене, что делает их популярными среди широкого круга пользователей. Они подходят для большинства повседневных задач, не требующих ультравысокой детализации.

Кроме того, стоит отметить, что современные цифровые камеры включают множество передовых технологий, таких как автофокусировка, стабилизация изображения, высокое значение ISO для съемки в условиях низкой освещенности, а также различные режимы съемки и фильтры, которые позволяют значительно улучшить качество фотографий независимо от разрешения матрицы.

Конечно, по мере развития съёмочных технологий и появления более совершенных матриц, границы подобных классификаций постоянно сдвигаются в качественном отношении.

В фотограмметрии камеры условно классифицируются на метрические и неметрические в зависимости от их точностных характеристик и предназначения для различных типов измерений.

Метрические камеры предназначены специально для фотограмметрических измерений и характеризуются высокой точностью (рис. 1.8) . Они проходят тщательную калибровку, которая включает определение внутренних параметров камеры, таких как фокусное расстояние, положение главной точки и коэффициенты дисторсии объектива. Эти камеры обладают высокой механической и термической стабильностью, что минимизирует деформации и изменения параметров в процессе эксплуатации. Метрические камеры обычно имеют фиксированное фокусное расстояние и специальные марки в кадре, которые обеспечивают точную геометрическую привязку изображений. Они широко применяются в высокоточных научных и инженерных задачах, включая картографию, аэрофотосъёмку, мониторинг деформаций сооружений, археологические исследования и другие области, где требуется высокая точность измерений.



Рис. 8 - Rolleiflex 6008 digital metric

С другой стороны, неметрические камеры не предназначены специально для фотограмметрических задач и изначально разрабатываются для общего фотографирования, таких как любительская и коммерческая съемка. Эти камеры не проходят специальную фотограмметрическую калибровку, и их параметры могут изменяться при эксплуатации. Неметрические камеры обладают меньшей стабильностью по сравнению с метрическими, что может привести к деформациям и изменению параметров при изменении условий съемки. Однако, несмотря на это, неметрические камеры могут использоваться в некоторых фотограмметрических задачах после проведения постфактум калибровки. Они применяются в случаях, когда высокая точность не является критически важной, например, в создании 3D-моделей для визуализации, мониторинге объектов в любительских проектах и некоторых инженерных исследованиях. Неметрические камеры часто имеют изменяемое фокусное расстояние (зум) и более широкие возможности для автоматических настроек, таких как автофокусировка и стабилизация изображения, что делает их удобными для общего использования, но менее точными для метрических задач.

В связи с популяризацией цифровых технологий, наземная фотограмметрия становится всё более востребованной для создания трехмерных моделей объектов. В отличие от лазерного сканирования и использования тахеометра для фасадной съёмки, фотограмметрический метод не требует дорогостоящего оборудования. Данный способ позволяет сделать модель объекта доступной и с необходимой точностью. Не редко, применяют комбинированный метод съёмки, в таком случае наземную фотограмметрию используют вместе с другими типами съёмки, например с лазерным сканированием.

4 Методы съёмки

В идеальных условиях исследований моделей, для повышения точности и надежности результатов, необходимо просто увеличить количество контрольных точек. Эти точки могут быть закреплены практически везде (рис. 1.9). Это позволяет более точно определить положение и геометрические параметры модели, обеспечивая более детальное и точное исследование. Такие методы контроля широко применяются в лабораторных работах, где требуется высокая степень точности и воспроизводимости измерений, например, в инженерных исследованиях, архитектурном проектировании и научных экспериментах.

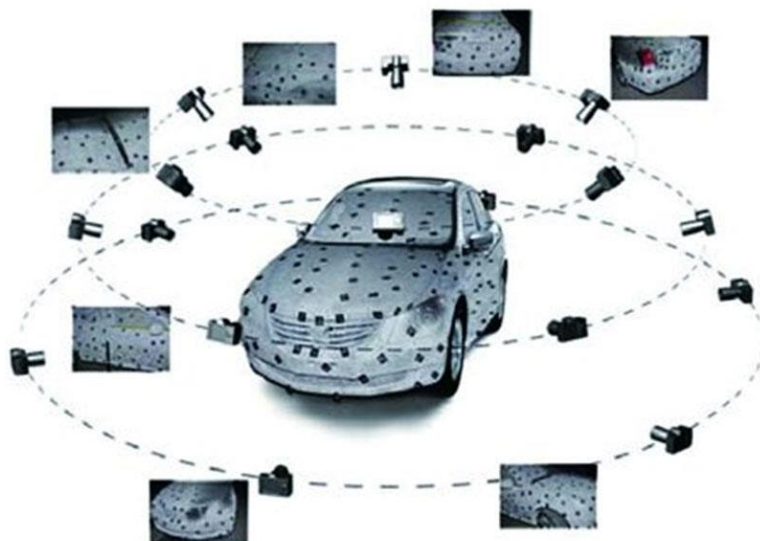


Рис. 9 – Автомобиль с нанесенными контрольными точками

В современных исследованиях моделей с решетчатой структурой, таких как фермы и балки, контрольные точки могут быть размещены на задней стене или на раме испытательного стенда, чтобы они находились в непосредственной близости к исследуемым точкам (рис. 1.10). Такое размещение обеспечивает минимальное расстояние между контрольными и исследуемыми точками на снимке, порядка 2-5 мм. Это позволяет исключить необходимость внесения поправок за нарушение элементов внутреннего и внешнего ориентирования. Благодаря этому, можно использовать непосредственно измеренные смещения на снимке для точных вычислений деформаций. Более того, применение современных фотограмметрических технологий, таких как высокоразрешающие цифровые камеры и автоматические системы обработки изображений, значительно повышает точность и эффективность измерений, позволяя получать детализированные трехмерные модели исследуемых объектов и анализировать их с высокой степенью точности.

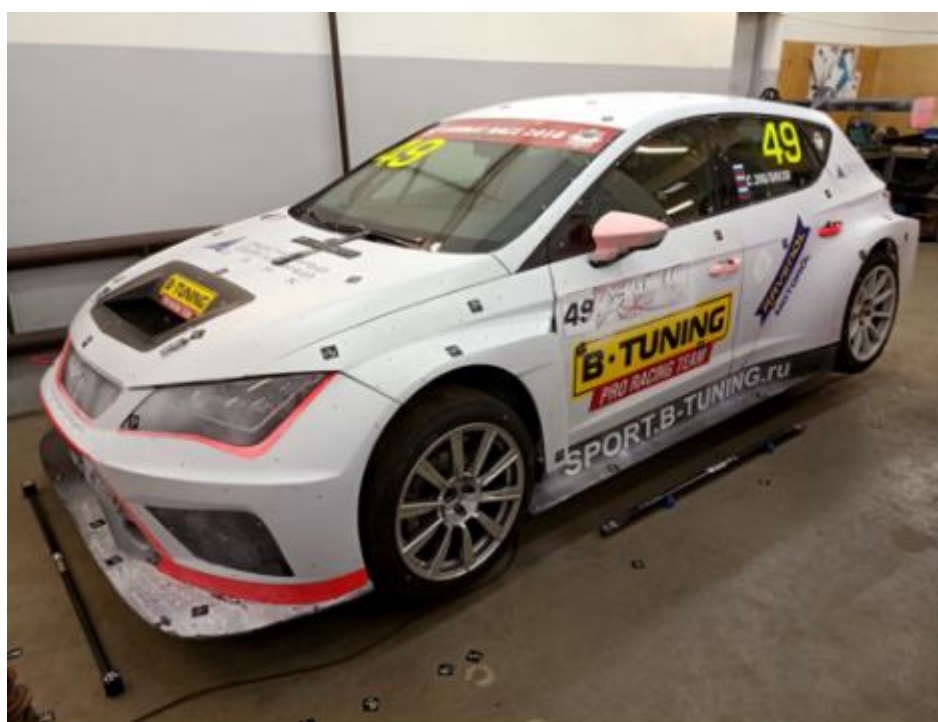


Рис. 10 – Автомобиль расположенный на специальном стенде

Однако, такое расположение контрольных точек не подходит для съёмки объёмных и сплошных моделей из-за снижения точности в центральной части модели. Что бы избежать этой ошибки, необходимо создать сплошную сеть измеряемых точек. При равном их нанесении ошибки в центральной части модели и по краям будут одинаковыми. Одним из методов такого проектирования положения контрольных точек, является квадратная сетка из очень тонких нитей. Её необходимо установить перед моделью. Каждое пересечение нитей будет использоваться при обработке в качестве контрольных точек. Это позволит получить отличную плотность точек на объектах любой формы. В таком случае, появляется возможность использования камер с большим форматом кадра. Это позволит уменьшить расстояние фотографирования и, следовательно, увеличить масштаб, что приведет к повышению точности измерения. Все поправки за нарушение ЭВО основываются на системы уравнений поправок, составленных по измеренным смещениям для ближайших вершин контрольной сетки.

В зависимости от целей, задач и качества исходных материалов происходит выбор метода камеральной обработки снимков. Кроме того, ключевую роль в выборе играют дополнительные аспекты обработки, такие как: полнота измерений, чем больше данных получено с изображений, тем более детализированной и точной будет модель; используемое оборудование, высококачественные цифровые камеры и специализированное ПО обеспечивают более точные результаты; контрольные точки, тщательное планирование и размещение контрольных точек повышают точность итоговой модели; поправки за нарушение ориентирования.

Таким образом, выбор метода камеральной обработки снимков моделей зависит от специфических требований задачи, оборудования и условий

съемки, что позволяет достичь максимальной точности и полноты данных для дальнейшего анализа и использования.

5 Вывод

В ходе изучения различных аспектов фотограмметрии, были рассмотрены особенности модельной наземной съемки, а также классификации цифровых камер, применяемых в фотограмметрии. Понимание этих элементов является ключевым для успешного применения фотограмметрии в различных инженерных и научных задачах.

В ходе этого анализа был выбран самый оптимальный способ модельной фотограмметрической съёмки. А также описаны основные нюансы и последовательность действий при съёмке. Все данные, представленные в работе, были взяты из открытых источников, как отечественных, так и иностранных. В них представлены различные задачи и методы получения трехмерных моделей различных объектов и измерений на них. Стоит так же отметить, что современных материалов по съёмке объектов методом наземной фотограмметрии у отечественных авторов не много. Как правило они очень старые и подходят только частично. В иностранных же примерах другая проблема, это труднодоступность.

Фотограмметрия является мощным инструментом для измерений и анализа объектов в различных областях науки и техники. Современные методы съемки и обработки данных обеспечивают высокую точность и детализацию, что делает фотограмметрию незаменимым инструментом в инженерии, архитектуре, археологии и других областях. Использование цифровых камер, включая камеры смартфонов, значительно расширяет возможности фотограмметрии, делая ее доступной для более широкого круга пользователей. В целом, фотограмметрия способствует улучшению качества и эффективности инженерных работ, обеспечивая надежные данные для принятия обоснованных решений.

Литература

1. Михайлов А.П., Чибуничев А.Г. Фотограмметрия: Учебник для вузов // Под общ. ред. А.Г. Чибуничева. –М.: Изд-во МИИГАиК, 2016. – 295 с.: ил.
2. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений. —М.: 1984
3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. М., 2002,10
4. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 1.5 дата публикации 2019
5. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного Москва Стандартиформ 2016
6. Petruccioli, A., Gherardini, F. & Leali, F. Assessment of close-range photogrammetry for the low cost development of 3D models of car bodywork components. *Int J Interact Des Manuf* 16, 703–713 (2022).
7. Petruccioli, A., Gherardini, F. & Leali, F. Assessment of close-range photogrammetry for the low cost development of 3D models of car bodywork components. *Int J Interact Des Manuf* 16, 703–713 (2022).
8. Guidi, G., Remondino, F.: 3D Modelling from real data. In: Modeling and Simulation in Engineering, edited by A. Catalin, 69–102. London: IntechOpen: (2012) doi: <https://doi.org/10.5772/30323>
9. Guidi, G., Remondino, F.: 3D Modelling from real data. In: Modeling and Simulation in Engineering, edited by A. Catalin, 69–102. London: IntechOpen: (2012) doi: <https://doi.org/10.5772/30323>
10. Никитин, В. Н. Использование дополнительных геометрических условий при решении геодезических и фотограмметрических задач [Текст] / В. Н. Никитин, А. В. Семенцов // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 41–45.

