

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКАЯ АКАДЕМИЯ

Д. А. Евстропов, А. И. Попов, В. А. Абрамов

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛЕДОВ
В ТРАСОЛОГИИ

Учебное пособие

Волгоград
ВА МВД России
2026

УДК 343.982.35(075.8)
ББК 67.521.3я73
Е 26

Одобрено
редакционно-издательским советом
Волгоградской академии МВД России

Евстропов, Д. А.

Е 26 Применение цифровых технологий 3D-моделирования
объемных следов в трасологии : учебное пособие / Д. А. Евс-
тропов, А. И. Попов, В. А. Абрамов. – Волгоград : ВА МВД
России, 2026. – 120 с.

ISBN 978-5-7899-1675-9

В пособии освещен комплекс вопросов, содержащих сведения, касаю-
щиеся исторических аспектов появления методов 3D-сканирования, фик-
сации и исследования объемных следов взлома, обуви и транспортных
средств, полученных цифровыми способами 3D-моделирования, а также
вопросы обработки полученных результатов с помощью программного
обеспечения Calibry Nest и Metashape, используемых при подготовке кур-
сантов и слушателей в Волгоградской академии МВД России.

Учебное пособие предназначено для курсантов и слушателей факультетов
экспертно-криминалистического профиля образовательных организаций
системы МВД России и сотрудников экспертно-криминалистических
подразделений.

УДК 343.982.35(075.8)
ББК 67.521.3я73

Рецензенты: доцент кафедры судебно-экспертной деятельности
Краснодарского университета МВД России кандидат химических наук
К. В. Протасов; заместитель начальника отдела криминалистических экс-
пертиз Экспертно-криминалистического центра Главного Управления
МВД России по Волгоградской области *Д. Г. Шашнин*.

ISBN 978-5-7899-1675-9

© Евстропов Д. А., Попов А. И., Абрамов В. А., 2026
© Волгоградская академия МВД России, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Теоретические основы получения 3D-моделей ...	6
§1.1. История развития технологии 3D-сканирования	6
§1.2. Виды трехмерного моделирования	22
§1.3. Виды 3D-сканирования	32
§1.4. Правовые основы применения технологий 3D-сканирования	61
Глава 2. Фиксация объемных следов с помощью фотограмметрии	67
§ 2.1. Общие сведения о программе Agisoft Metashape и этапы построения трехмерной модели	68
§ 2.2. Типичные ошибки при создании 3D-моделей в Agisoft Metashape	80
Глава 3. Фиксация объемных следов с помощью 3D-сканера Calibry Mini	83
§ 3.1. Общие сведения о сканере и способах фиксации объемных следов	84
§ 3.2. Сравнение полигональных объемных следов	105
Заключение	112
Библиографический список	113

ВВЕДЕНИЕ

Сотрудники криминалистических подразделений активно используют передовые технологии для повышения точности фиксации доказательств, найденных при осмотрах мест происшествий. В конце XIX в. фотография стала эффективным средством фиксации и исследования доказательств, а также неотъемлемой частью осмотра места происшествия. Она позволила повысить качество документирования доказательств, упростить их обработку и хранение¹.

Вместе с тем двухмерные изображения не всегда позволяют отразить все особенности исследуемого объекта. Например, это касается объемных следов, при изучении которых большое значение имеют пространственные характеристики поверхности. Развитие технологий привело к появлению портативных 3D-сканеров, которые обеспечивают высокоточную фиксацию геометрии объектов и позволяют проводить их пространственный анализ с сохранением текстуры поверхности.

Традиционные методы фиксации, такие как фотографирование и изъятие следов с помощью гипса, обладают рядом недостатков (искажения, субъективность измерений, утрата деталей при контакте с формовочными материалами). 3D-моделирование минимизирует эти риски, позволяет многократно оцифровывать след без риска утраты деталей, связанных с контактом слепочной массы со следом, создавая точную цифровую копию, доступную для последующего детального изучения.

Технологии 3D-сканирования активно развиваются и находят широкое применение в различных сферах (промышленность, медицина, архитектура, археология, дизайн, криминалистика и т. д.). Они позволяют получать точные цифровые копии объектов, анализировать их характеристики и использовать полученные данные:

– для оцифровки артефактов, их сохранения, воссоздания утраченных частей исторических объектов, исследования древних захоронений и культурных памятников в археологии;

¹ Телятицкая Т. В. Использование цифровой фотографии на местах происшествия при производстве судебных экспертиз // Технологии в инфосфере. 2021. Т. 2, № 2. С. 68–76.

- контроля качества деталей, сборки изделий, а также обратного проектирования (reverse engineering) с целью воспроизведения элементов конструкций в промышленности;

- создания точных цифровых моделей зданий и сооружений, включая их внутреннюю структуру и элементы в архитектуре. Это позволяет осуществлять эффективное проектирование, реконструкцию и анализ состояния существующих объектов, а также сохранять историческое наследие зданий при реставрации;

- создания точных 3D-моделей органов при хирургическом планировании, изготовления индивидуальных протезов и имплантов, а также проведения исследований в области анатомии и биомеханики в медицине;

- фиксации объемных следов преступлений (следы орудий взлома, обуви, транспортных средств), документирования мест происшествий, воссоздания обстановки преступления и моделирования событий в криминалистике; реконструкции ДТП, где 3D-сканеры помогают воссоздать сцену столкновения автомобилей, анализировать траектории движения и определять возможные причины аварии. 3D-технологии также применяются в судебно-медицинской экспертизе для реконструкции лица по черепу, оцифровки травм, телесных повреждений, оцифровка травм позволяет анализировать механизм их причинения и сопоставлять с орудиями преступления.

Существуют различные технологии 3D-сканирования, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Лазерные сканеры обеспечивают высокую точность фиксации, но требуют стабильных условий работы и калибровки, оптические обладают высокой скоростью сканирования, а фотограмметрия требует фотографий высокого качества. Освоение навыков фиксации следов, найденных при осмотре места происшествия указанными способами, является важной частью подготовки современных специалистов.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

Развитие 3D-технологий охватывает несколько десятилетий¹. Официально первая модель сканера появилась в 1960-х гг., этот образец обладал ограниченным набором функций, однако идеи, лежащие в его основе, существовали еще задолго до этого момента. В данной главе будут рассмотрены исторические аспекты появления 3D-моделирования.

§ 1.1. История развития технологии 3D-сканирования

1950–1970-е гг.: предшественниками 3D-сканеров можно назвать методы фотограмметрии.

Фотограмметрия использовала фотографии объекта, сделанные под разными углами, для получения данных о его форме и размерах. Этот метод тесно связан с технологиями дистанционного зондирования, термин «дистанционное зондирование» (Remote Sensing) был введен в середине 1950-х гг. Эвелин Прюитт, географом и океанографом, работавшей в Исследовательском управлении ВМС США. В 1960–1970-х гг. основными платформами для размещения приборов дистанционного зондирования были спутники.

Дистанционное зондирование представляет собой инструментальный метод получения и измерения пространственно организованных данных, содержащих информацию о спектральных, пространственных и физических характеристиках целевых объектов в пределах наблюдаемой сцены. Записывающие устройства не контактируют с объектами наблюдения, но фиксируют их параметры, сохраняя пространственную структуру.

В 1960-х гг. начались эксперименты с использованием оптических устройств для измерения трехмерных параметров. Первые методы 3D-сканирования включали контактные устройства и системы, основанные на проекции света, однако они были медленными и требовали значительных вычислительных ресурсов.

¹ Несмиянова И. О. 3D сканирование в экспертной деятельности: понятие, сущность и возможности применения // Systems and management. 2020. Т. 2, № 2. С. 50–67.

Методы дистанционного зондирования, основанные на сборе информации о наблюдаемом объекте с помощью электромагнитного излучения, силовых полей или акустической энергии, активно применялись в научных и инженерных целях. Для этого использовали камеры, радиометры, сканеры, лазеры, радиочастотные приемники, радары, тепловизоры, сейсмографы, магнитометры и другие сенсоры.

Дистанционное зондирование можно охарактеризовать как науку и технологию, позволяющую идентифицировать, измерять и анализировать свойства интересующих объектов без непосредственного взаимодействия¹.

Поскольку дистанционное зондирование означает получение информации о явлении, объекте или поверхности на расстоянии, этот термин стал применяться к современным технологиям, в которых спутники и космические аппараты используются для сбора данных о поверхности Земли. Оно стало возможным благодаря достижениям в различных областях науки и техники, начиная с 1960-х гг. Термин «дистанционное зондирование» появился в США в 1960-х гг. и охватывал такие дисциплины, как фотограмметрия, фотоинтерпретация и фотогеология.

Важными этапами в истории дистанционного зондирования стали два ключевых проекта:

- CORONA – секретная военная разведывательная программа спутникового наблюдения США, запущенная в 1960 г. и продолжающаяся до сих пор через более современные спутники Keyhole;

- Landsat – гражданская программа спутникового мониторинга природных ресурсов, начатая в 1972 г. и продолжающаяся по сей день через новые поколения спутников Landsat и другие аналогичные проекты.

Со временем изображения стали цифровыми, что позволило анализировать их с помощью компьютеров. В этот же период наблюдается стремительное развитие вычислительных технологий, что привело к улучшению визуализации данных – информация стала представляться не только в числовом, но и графическом формате.

¹ Bethel J. S. Photogrammetry and remote sensing / edited by W. F. Chen and J. Y. Richard Liew // The Civil Engineering Handbook. Boca Raton: CRC Press LLC, 2003. P. 2170.

Термин **«фотограмметрия»** относится к измерению фотографий и изображений с целью получения данных о размерах, форме и пространственных характеристиках объектов. В то же время **«дистанционное зондирование»** охватывает анализ изображений для извлечения содержательной информации. Фотограмметрия как инженерная дисциплина зародилась в середине XIX в., вскоре после изобретения фотографии. Она берет начало в геодезии, главным образом в аэрофотосъемке поверхности Земли, хотя наземная («ближняя») фотограмметрия тоже является неотъемлемой частью этой дисциплины.

Фотограмметрия делает упор на геометрическое 3D-моделирование окружающей среды, в то время как дистанционное зондирование направлено на определение свойств объектов по их радиометрической интенсивности. Эти два направления пересекаются в методологическом и прикладном аспектах: фотограмметрия сосредоточена на геометрических измерениях объектов, а дистанционное зондирование акцентирует внимание на радиометрических характеристиках, например, отражательной способности поверхности.

Ранее фотограмметрия и дистанционное зондирование основывались на фотографиях с фотохимической эмульсией, однако с развитием технологий, устройств и систем, основанных на проекции света, цифровые изображения стали основным средством анализа в обеих областях.

Наиболее распространенный тип изображений в инженерной практике – кадровые аэрофотоснимки, но методики могут применяться и к спутниковым изображениям, съемке с беспилотников и наземных камер. Основные области применения фотограмметрии включают топографическое картографирование, создание ортофотопланов, градостроительное планирование, мониторинг окружающей среды, инвентаризацию природных ресурсов, а также анализ деформаций строительных объектов.

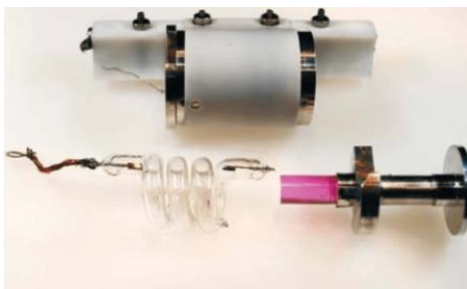
Развитие лазерных измерений (1960–1970-е гг.): лазерная технология берет свое начало с изобретения первого работающего лазера в 1960 г. американским физиком Теодором Мейманом. Теоретические основы работы лазера были заложены Альбертом Эйнштейном в 1905 г. в статьях по квантовой теории фотоэффекта и теплоемкости. Он же дал определение светового кванта как наименьшей порции световой энергии, позднее названного фотоном.

В мае 1960 г. Мейман запустил действующий макет рубинового лазера (рис. 1.1а). Поиск нетрадиционных решений натолкнул его на мысль о целесообразности использования сверхъярких стробоскопических ламп, применяемых в фотографии. Проведенные расчеты показали, что эти лампы обеспечивают оптическую накачку, поэтому они были применены в импульсном лазере (рис. 1.1б). 6 мая 1960 г. заработал первый в мире лазер с длиной волны 0,69 мкм.

Осенью того же года запустили первый советский лазер на кристалле рубина. В 1961 г. был создан лазер на неодимовом стекле, а в течение следующих пяти лет были разработаны лазерные диоды, лазеры на красителях, лазеры на двуокиси углерода, химические лазеры. Началась эпоха лазерной физики. Эти открытия стали основой для дальнейшего развития методов точных измерений, в том числе дистанционного сканирования.



а



б

Рис. 1.1. а – Теодор Мейман – создатель первого в мире лазера;
б – устройство импульсного лазера

В конце 1960-х гг. появились первые экспериментальные системы, использующие лазер для измерения расстояний, однако они были громоздкими и сложными в эксплуатации.

В 1970-х гг. инженеры начали применять лазерные дальномеры для топографической съемки и геодезии¹. Эти приборы позволяли измерять расстояния с высокой точностью, что значительно упростило и ускорило процесс картографирования местности, но они еще не создавали полноценных трехмерных моделей объектов. Первые системы лазерного сканирования были механическими и использовали вращающиеся зеркала для отклонения лазерного луча.

Для увеличения дальности измерений наблюдения проводились в основном ночью. В качестве источников света использовались вольфрамовые или ртутные лампы. Во время ночных наблюдений можно было за 10–15 минут измерить линии протяженностью в 5 км с точностью 1 см. Наблюдения днем позволяли измерять линии длиной до 800 м. Вес дальномера составлял 34 кг (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Геодезический лазерный дальномер Geodimeter Model 4

Лазерные дальномеры стали особенно полезны в сложных условиях, где традиционные методы измерения были затруднены, например, в горных районах или на пересеченной местности (рис. 1.3).

¹ Oude technieken museum // AGA Museum te Emmen: website. URL: <https://www.aga-museum.nl/aga-geodimeter-3-8/> (accessed: 01.06.2026).



Рис. 1.3. Использование геодезического лазерного дальномера AGA Geodimeter modell 8 при изысканиях в районах крайнего севера

Со временем на основе лазерных дальномеров были разработаны первые прототипы лазерных сканеров, способных не только измерять расстояния, но и создавать трехмерные модели рельефа.

Развитие трехмерного сканирования (1980–1990-е гг.): в 1980-х гг. началось активное развитие компьютерных технологий, что позволило совершенствовать методы обработки данных лазерного сканирования¹. Разработаны первые системы, способные создавать 3D-модели объектов. Технологии нашли применение в инженерных задачах, архитектуре, а также промышленности, но одним из первых применений 3D-сканирования стало создание цифровых моделей людей. В 1980-х гг. компания Cyberware Laboratories из Лос-Анджелеса внесла значительный вклад в эту область, разработав сканер головы (Head Scanner), который позволял точно оцифровывать лица и головы людей для использования в компьютерной графике и спецэффектах (рис. 1.4)².

¹ Besl P. J., McKay N. D. A Method for Registration of 3-D Shapes // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992. Vol. 14. P. 239–256.

² Edl M., Mizerák M., Trojan J. 3D laser scanners: history and applications // Acta Simulatio. 2018. Vol. 4, № 4. P. 1–5.

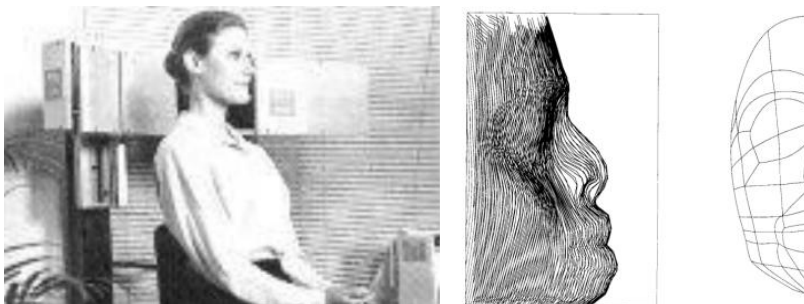


Рис. 1.4. Процесс цифрового захвата формы головы человека с помощью стационарного лазерного 3D-сканера

К концу 1990-х гг. на рынке появились первые коммерческие лазерные 3D-сканеры, которые могли работать с высокой точностью и быстротой¹. Они использовали метод времени пролета (Time-of-Flight) или триангуляции для создания облаков точек, представляющих поверхность объекта в трехмерном пространстве. Это стало революцией в области цифровой документации и анализа сложных структур.

В 1996 г. компания 3D Scanners создает первую в мире систему Reality Capture, позволяющую не только создавать сложные 3D-модели, но и накладывать на них текстуры с цветом. В этот период Cyberware Laboratories разрабатывает ручной Head Scanner (рис. 1.5), который позволяет быстро и точно оцифровывать лица и головы для компьютерной графики.

¹ Boehler W., Marbs A. 3D Scanning and Photogrammetry for Heritage Recording: A Comparison // Geoinformatica. 2002. URL: https://www.researchgate.net/publication/228685064_3D_scanning_and_photogrammetry_for_heritage_recording_A_comparison (accessed: 01.06.2026).



Рис. 1.5. Процесс цифрового захвата формы и текстуры головы манекена с помощью ручного лазерного 3D-сканера

Массовое внедрение и совершенствование (2000-е годы): в начале 2000-х гг. лазерное сканирование стало широко применяться в различных отраслях, в том числе в криминалистике¹. Появились портативные и стационарные сканеры, работающие на основе фазового метода измерений, обеспечивающие большую точность и детализацию. Лазерное сканирование стало активно использоваться в строительстве, реставрации исторических объектов культурного наследия, судмедэкспертизе и криминалистических исследованиях.

В этот же период значительно улучшились алгоритмы обработки облаков точек. Современные программные комплексы позволяли автоматически совмещать данные, фильтровать шумы и преобразовывать облака точек в точные цифровые модели².

¹ Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation / U. Buck, S. Naether, M. Braun [et al.] // Forensic Science International. 2007. Vol. 170, № 1. P. 20–28.

² Borrmann D., Elseberg J., Lingemann, K., Nüchter A. The 3D hough transform for plane detection in point clouds: A review and a new accumulator design // 3D Research. 2011. Vol. 0202. URL: https://www.researchgate.net/publication/228754371_The_3D_Hough_Transform_for_plane_detection_in_point_clouds_A_review_and_a_new_accumulator_design (accessed: 01.06.2026).

В криминалистике такие технологии стали использоваться для фиксации объектов на местах преступлений, моделирования траекторий движений и анализа следов выстрела. С помощью 3D-сканирования практически исключаются ошибки оператора в измерениях. Специалист может быть уверен в том, что все: следы обуви, огнестрельные повреждения, следы деформаций на разрушенном автомобиле, – будет зафиксировано точно так, как это выглядит в реальности. Данные цифровые доказательства и сцены могут быть рассмотрены, проанализированы и исследованы.

Сцены, которые обычно требуют дней или даже недель для документирования и обработки с использованием традиционных криминалистических методов, можно сканировать и обработать в цифровом формате всего за несколько часов, что снижает затраты и предоставляет доказательства, которые удобно хранить и практически невозможно испортить¹.

Хотя 3D-сканеры могут потребовать значительных первоначальных затрат, они предоставляют множество преимуществ как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. При сравнении двух методов захвата данных с использованием имитационной сцены убийства для тестирования учеными выделено несколько преимуществ использования профессионального сканера:

- 3D-сканирование позволяет избежать искажений, фиксируя объект с разных углов и точек зрения, обеспечивая детальность в последующих исследованиях;

- по данным Forensic Science International, по сравнению с традиционными методами криминалистической документации, 3D-сканирование обеспечивает быструю и гораздо более точную обработку данных – в шесть раз быстрее традиционных методов криминалистической документации;

- 3D-сканирование позволяет зафиксировать всю сцену, сохраняя детали. Это не только помогает в текущем расследовании, но и предоставляет ценные данные, которые могут быть использованы позднее, если возникнут новые вопросы или потребуется дополнительное исследование, что особенно важно для анализа сцены

¹ 3D scanners for forensics // Artec 3D: website. URL: https://www.artec3d.com/3d-scanning-solutions/forensic?keyword=&gad_source=1&gclid=EAIaIqobChMIvODurJOvjAMVXYT9BR2a_y12EAAYAiAAEgIOufD_BwE (accessed: 01.06.2026).

преступления или дорожно-транспортных происшествий. Данные можно использовать для проверки версии и уточнения деталей (рис. 1.6–1.7).

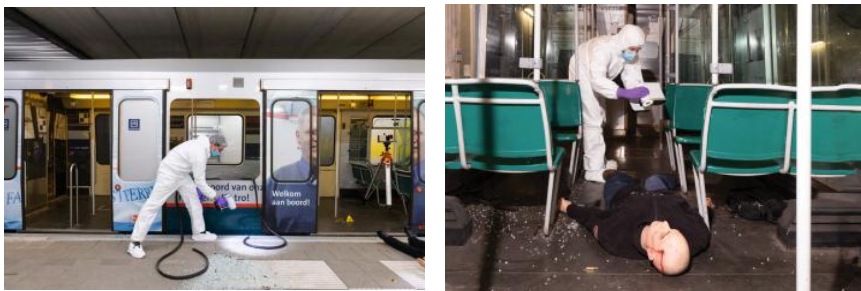


Рис. 1.6. Оцифровка места убийства в метро с помощью лазерного сканера

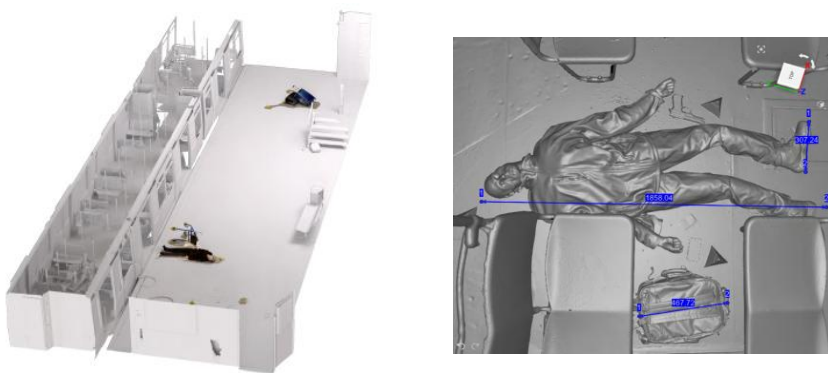


Рис. 1.7. 3D-модель места убийства в метро

Работать со сканером можно в помещении и на открытой местности без риска повреждения объекта (рис. 1.8–1.9).

Сканирование остатков позволяет проводить реконструкцию лица по черепу в цифровом формате, анализировать повреждения и строить следственные версии (рис. 1.10).



Рис. 1.8. 3D-модель транспортного средства с повреждениями

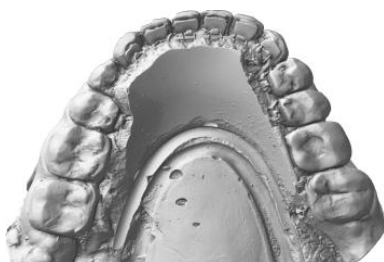


Рис. 1.9. 3D-модель следа обуви и нижней челюсти человека

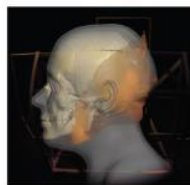
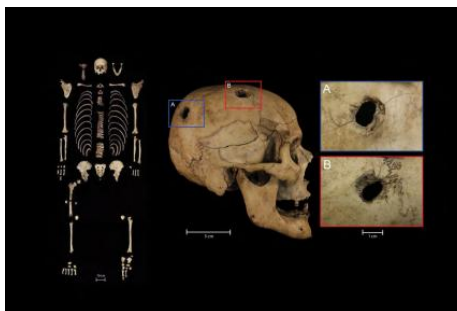


Рис. 1.10. Восстановление прижизненного облика человека по костным останкам

(2010–2020-е гг.): развитие технологий автоматической обработки данных¹.

¹ Comparison of the Selected State-of-the-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Processing Methods / V. Lehtola, H. Kaartinen, A. Nüchter [et al.] // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. P. 796.

Появились устройства Lidar – Light Detection and Ranging (обнаружение и определение дальности с помощью света) или Laser Imaging, Detection, and Ranging (лазерная визуализация, обнаружение и определение дальности), определяющие расстояние до объекта с помощью лазера и измерения времени, за которое отраженный свет возвращается к его детектору.

3D-сканеры используют для сбора доказательств. Они позволяют реконструировать сцену преступления с высокой точностью, что особенно важно в условиях, когда суды все чаще принимают технологические доказательства¹. С ростом доверия к высокотехнологичным инструментам в судебной практике 3D-сканирование станет стандартной методикой в криминалистике.

Линчепингский районный суд (является одним из шести апелляционных судов в Швеции) 25 июля 2018 г. приговорил мужчину к пожизненному заключению за два убийства и мошенничество². Судебно-криминалистические доказательства сыграли огромную роль в этом деле наряду с долгосрочной и стратегической работой следствия со специалистами. Было проведено множество допросов и детальных исследований, чтобы отследить подозреваемого и исключить других возможных лиц.

Место преступления было отсканировано группой из национального центра судебной экспертизы по документированию мест преступлений, которая также визуализировала место происшествия в 3D. Всего было выполнено 35 сканирований различных позиций внутри и снаружи здания, создана 3D-модель с 530 миллионами точек. В 3D-реконструкции тела жертв были заменены на виртуальные фигуры (рис. 1.11).

¹ Kowbuz D. How 3D scanning rebuilds crime scenes for courtrooms? // Gim International. 2020. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/how-3d-scanning-rebuilds-crime-scenes-for-courtrooms> (accessed: 01.06.2026).

² Kriminal Teknik. 2018. № 3. P. 11.



Рис. 1.11. 3D-реконструкции сцены убийства на кухне в доме жертв, расположенном за пределами Манторпа в коммуне Мельбю

Эти усилия по использованию передовых цифровых технологий в криминалистике являются частью более широкой тенденции, которая наблюдается в других областях на протяжении последних десятилетий.

Археологи используют 3D-моделирование, фотограмметрию и лазерное сканирование для фиксации и изучения объектов всемирного наследия. Данные методы позволяют не только документировать, но и создавать цифровые копии памятников, доступные для исследователей, реставраторов и широкой общественности:

– археологические исследования, подобные раскопкам на стоянке Гивати, демонстрируют, насколько успешно технологии 3D-сканирования применяются для фиксации исторических объектов. В данном случае для точного документирования памятника, охватывающего несколько исторических периодов, использовались наземное лазерное сканирование (TLS) и тахеометрическая съемка. Подобные методы позволяют зафиксировать пространственные характеристики объектов культурного наследия и отслеживать изменения в ходе раскопок, создавая динамические базы данных (4D).

Объект состоит из нескольких монументальных зданий, расположенных в разных исторических слоях, и занимает площадь около 30 000 квадратных метров, достигая глубины более 10 метров от современного уровня улицы (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Раскопки на участке Гивати, Иерусалим, панорамный вид

В декабре 2015 г. проведены два обследования с использованием фазового наземного лазерного сканера (TLS) и электронного тахеометра в качестве топографической поддержки. Виртуальная модель включает 125 сканированных областей. Среднее разрешение конечных облаков точек оценено в 5 мм (рис. 1.13);

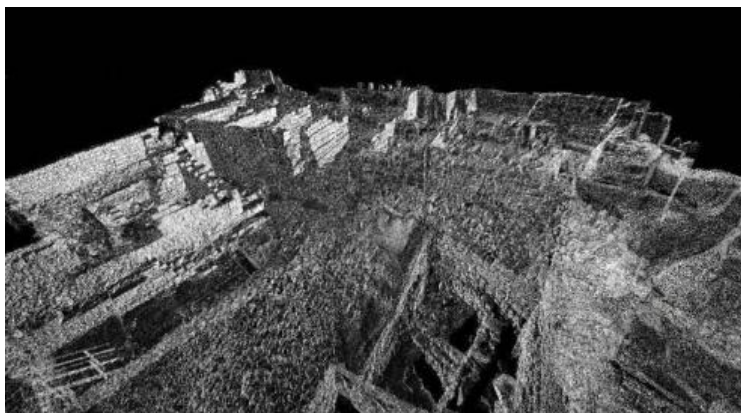


Рис. 1.13. 3D-модель раскопок на участке Гивати

– церковь Айя Марина расположена на восточной окраине Кипра, в деревне Дериния (район Фамагуста), является одной из старейших в регионе Фамагуста. Первоначально она представляла собой часовню с куполом без притвора. Позднее к западной части был пристроен купольный притвор, а, вероятно, в XIV в. к южной стороне добавили сводчатую часовню. В настоящее время церковный комплекс состоит из двух небольших равных по размеру церквей, соединенных переходами (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Церковь Ая Марина, Дериния, внешний вид

Строгие правила, установленные силами ООН, ограниченное время работы для выполнения задач по цифровой фиксации и экстремально жаркие погодные условия, влияющие на работу топографических приборов, сделали процесс съемки чрезвычайно сложным.

Для документирования религиозного сооружения, расположенного в труднодоступном районе, был применен комплексный набор методов, включая фотограмметрию, наземное лазерное сканирование, GPS и тахеометрическую съемку.

Для съемки методом Structure from Motion (SfM) использовалась камера Canon EOS 6D с объективом Tamron 24-70 f/2.8, зафиксированным изолентой на фокусном расстоянии 50 мм, а также Canon 600D с 18-мегапиксельной матрицей и объективом Canon EF 20 мм 1:2,8.

В общей сложности было сделано 964 снимка, полученных путем кругового обхода здания с шагом 30 см. Для съемки крыши камера была закреплена на выдвижной штанге высотой 5–8 метров.

Автофокус и стабилизатор изображения были отключены, чтобы избежать нежелательных изменений внутренних параметров ориентации камеры во время фотограмметрической съемки и обеспечить

жесткость модели. Все снимки были получены с одинаковыми параметрами экспозиции.

Каждое изображение предварительно обрабатывалось: проводилось выравнивание цветов по эталонной цветовой шкале, а фон маскировался для облегчения и повышения точности процесса выравнивания. Затем набор изображений был импортирован в Agisoft Photoscan. Итоговая 3D-модель состояла примерно из 21 миллиона точек, модель была масштабирована в соответствии с предварительно собранными топографическими данными (рис. 1.15).



Рис. 1.15. 3D-модель церкви Айя Марина, полученная с помощью фотограмметрии

История 3D-сканирования демонстрирует, как от простых фотограмметрических методов технологии перешли к сложным лазерным и оптическим системам. 3D-сканирование активно используется в самых разных сферах, стремительно совершенствуясь, так оно нашло свою область применения и в криминалистике.

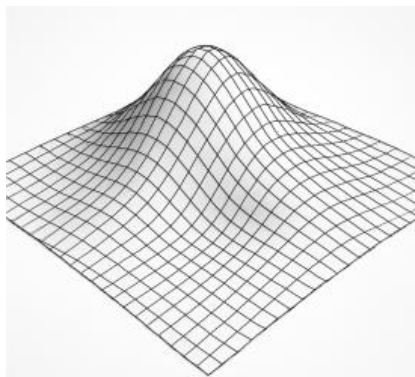
В ближайшее время оборудование станет компактнее. Технологии 3D-сканирования будут использоваться на беспилотных воздушных судах, что позволит получать модели мест происшествий с воздуха.

Развитие получают технологии виртуальной и дополненной реальности, что даст возможность проводить обучение выявлению механизма преступлений на местах происшествий и модернизирует подготовку судебных экспертов¹.

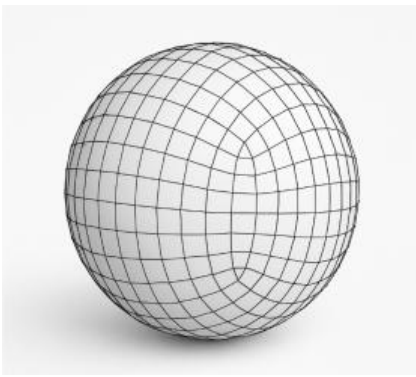
§ 1.2. Виды трехмерного моделирования

3D-моделирование – создание трехмерного графического объекта и дальнейшее его использование. 3D-модель может быть прототипом для какого-либо нового предмета или копией уже имеющегося². Существует несколько видов 3D-моделирования, которые могут быть использованы в зависимости от задач экспертизы:

– **каркасное моделирование** (mesh моделирование) – это метод 3D-моделирования, при котором объект представляется в виде каркаса, состоящего из вершин, ребер и граней. Такой способ моделирования используется для создания и анализа геометрической структуры объекта без прорисовки его поверхности или текстур (рис. 1.16).



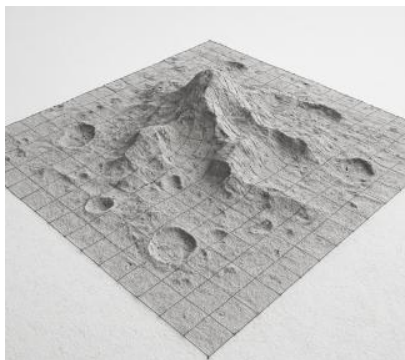
а



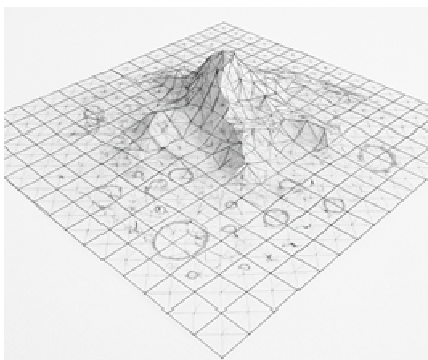
б

¹ Виртуальный криминалист // КИБЕР Холдинг: сайт. URL: <https://k-integration.ru/product/virtualnyj-kriminalist/> (дата обращения: 12.06.2026).

² Бондар М. Д., Паврозин А. В. 3D-Моделирование // Прикладные вопросы точных наук: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, преподавателей, Армавир, 20–21 октября 2017 г. Армавир: Типография имени Георгия Скорины, 2017. С. 242–244.



а



б

Рис. 1.16. а – каркасное представление поверхности; б – каркасное представление объема; в – каркасная структура поверхности объекта с прорисовкой текстуры; г – каркас поверхности без текстуры

Каркасная модель – это скелетное описание трехмерного объекта. В такой модели нет поверхностей, она состоит из точек, линий и кривых, которые описывают края объекта. Данная технология является первой в представлениях объемной геометрии, она появилась в конце XX в.¹

Идею, где объекты строятся из точек, линий и поверхностей, можно отнести к древнегреческой философии и математике, особенно к взглядам Пифагора, Платона, трудам Евклида и Аристотеля.

Платон в диалоге «Тимей» рассматривал мир как построенный из идеальных геометрических форм, в основе которых лежат простейшие элементы. Он связывал геометрию с сущностью мира: элементы (земля, воздух, вода, огонь) он представлял как составленные из правильных многогранников. А многогранники – из треугольников и линий, т. е. из геометрических начал. «Каждое тело имеет глубину, и, следовательно, ограничено поверхностями. Каждая поверхность, ограниченная прямыми линиями, делится на треугольники...»² Евклид указывал, что точка – это то, что не имеет части; линия состоит из точек, поверхность – из линий,

¹ Малюх В. Н. Введение в современное САПР: курс лекций. М.: ДМК Пресс, 2010. 192 с.

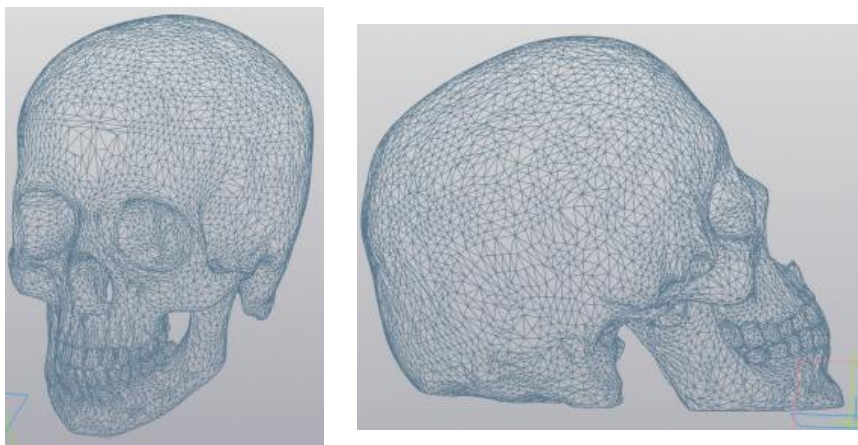
² Cornford F. M. D. Plato's cosmology: the Timaeus of Plato. Abingdon: Routledge, 2014. 398 p.

а тело – из поверхностей. Аристотель говорил о «непрерывности» и «делимости» геометрических объектов, утверждая, что точки не существуют сами по себе, а являются пределами линий и граница-ми деления.

Эти геометрические начала легли в основу античной философии пространства и современных цифровых технологий моделирования, включая каркасное 3D-моделирование;

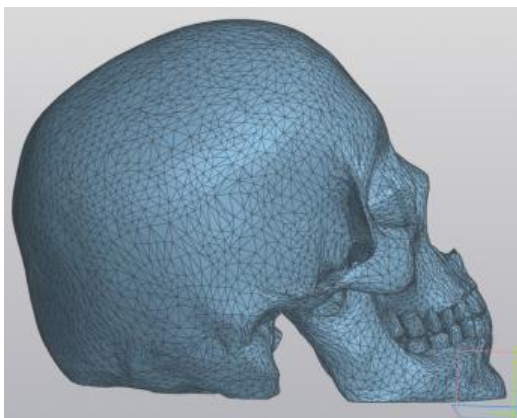
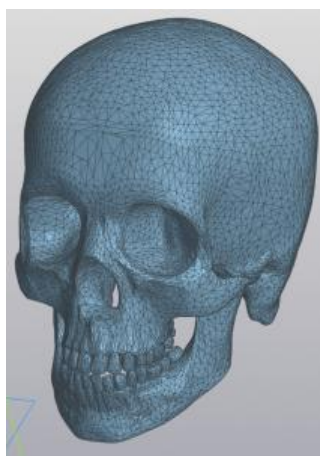
– **поверхностное моделирование** – создание моделей, описывающих внешние контуры и поверхность объекта. Этот метод позволяет получить детализированное представление исключительно о форме объекта.

Поверхностная модель – это модель, которая состоит так же, как и каркасная, из точек, линий и кривых, но главным отличием является поверхность, которой обладает модель данного вида (рис. 1.17). Для построения поверхностной модели необходимы направляющие линии, которые определяют форму и кривизну¹.

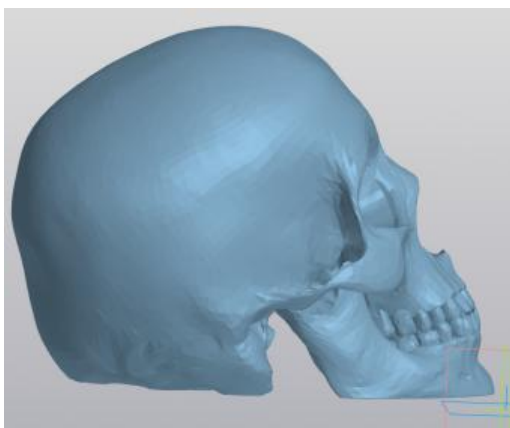


a

¹ Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования» для студентов автомобильного отделения специалитета, бакалавриата очной и заочной форм обучения / сост.: Т. В. Швеёва. Набережные Челны: Изд-во Набережночелнинского института КФУ, 2014. 88 с.



б



в

Рис. 1.17. Цифровая модель поверхности черепа человека:
а – каркасная; б – поверхностная полигональная;
в – поверхностная модель без полигонов

Такая модель не содержит информации о внутреннем объеме или массе объекта: она представляет собой тонкую «скорлупу», определяемую совокупностью поверхностей, чаще всего – сеткой из поли-

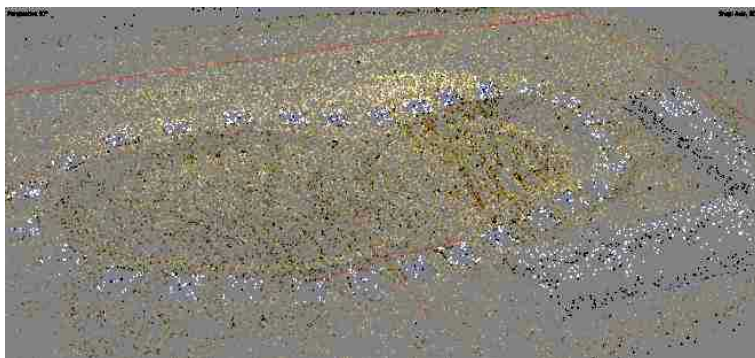
гонов. Именно поэтому данные модели невозможно, например, разрезать для анализа внутренней структуры или использовать в инженерных расчетах, где важны физические свойства материала.

Основу каркасного и поверхностного моделирования составляют облака точек, кривые, поверхности и полигоны. Чаще всего применяется полигональное моделирование, где объект формируется как мозаика из множества мелких треугольников. Чем больше полигонов, тем выше точность передачи формы. Используется моделирование на основе математически точных кривых, которые позволяют создавать гладкие поверхности без видимых углов и швов. В результате получается оболочка (образ) модели, готовой для текстурирования (наложения материала на поверхность полигонов) и визуализации. Если такой объект мысленно разрезать пополам, то внутри него будет пустота.

Облако точек – это совокупность множества отдельных точек в 3D-пространстве, каждая из которых имеет координаты (x , y , z), а иногда дополнительные характеристики, такие как цвет, яркость, отражательная способность или нормаль поверхности.

Облако точек получается в результате сканирования объекта с помощью 3D-сканера или фотограмметрической обработки серии изображений. По сути, это «сырой» результат съемки: сканер регистрирует положение большого количества точек на поверхности объекта, не соединяя их между собой. Эти точки описывают форму и объем предмета, но пока еще не образуют модель в привычном виде – без поверхности, ребер и полигонов.

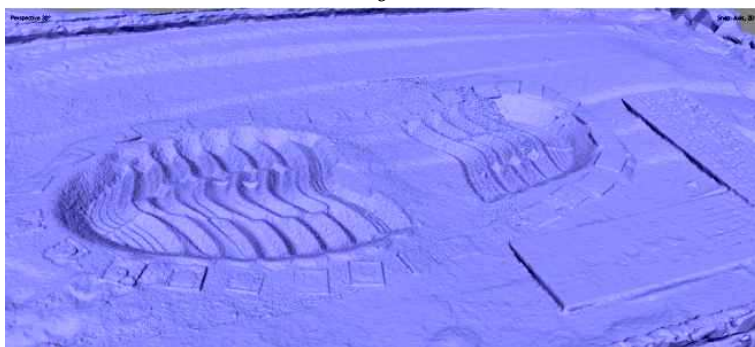
Визуально облако точек напоминает туман или рой пылинок, повторяющий контуры объекта. В нем можно распознать форму, но нельзя проводить полноценные измерения или печатать модель на 3D-принтере, пока не будет выполнена обработка: выравнивание, фильтрация, устранение шумов и последующее преобразование в поверхностную сетку (модель из полигонов) (рис. 1.18).



a



б



в

Рис. 1.18. а – облако, состоящее из 42 тысяч точек, поверхностного следа обуви, зафиксированного на поверхности песка методом фотограмметрии по 33 снимкам с камеры зеркального фотоаппарата, б – каркасная модель следа; в – поверхностная модель следа

Для криминалистики облако точек имеет большую ценность: оно фиксирует начальное состояние следа или объекта до любой последующей обработки. Например, при съемке следа обуви на рыхлом и сыпучем грунте облако точек позволяет зафиксировать мельчайшие неровности поверхности, которые могут быть важны для идентификации.

Полигональное моделирование – это метод создания трехмерных моделей объектов с использованием полигональных сеток (Polygonal meshes) – множества многоугольников (полигонов), чаще всего треугольников и четырехугольников.

В 3D-технологиях используется несколько ключевых принципов построения объектов. Наиболее используемые – методы твердотельного моделирования и полигонального моделирования.

Твердотельное моделирование – это моделирование на основе примитивов твердых тел, каждое из которых характеризуется формой, размерами, точкой привязки и ориентацией, математическим описанием. Это позволяет делать различные логические операции с элементами объектов: объединение, пересечение, вычитание и т. д.

Полигональное моделирование – формирование объектов с помощью полигональной сетки, состоящей из многих полигонов-поверхностей: треугольников, четырехугольников и больше.

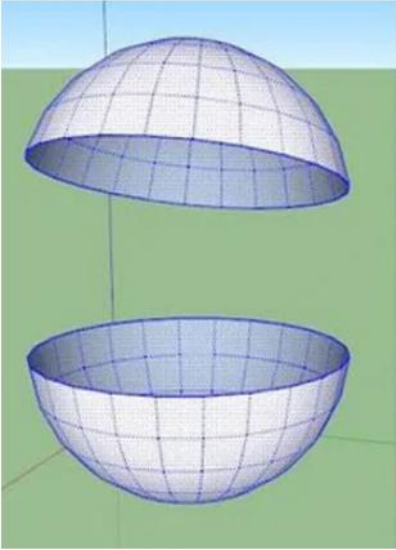
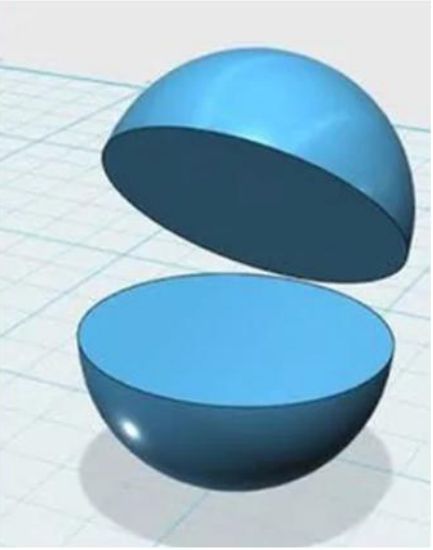
Текстурирование – это придание поверхностям модели вида реальных материалов (дерево, металл, пластик). В процессе создания простейших примитивов каждому из них назначается цвет, который на самом деле не является цветом поверхности, а обозначает цвет каркасной структуры. Чтобы после визуализации объекта он стал реалистичным, применяют редактор материалов. В редакторе можно установить реальный цвет объекта, при этом он может быть *основным* (определяет покрытие всего объекта), *обтекающим* (определяет влияние фонового освещения), *зеркальным* (определяет наиболее яркие блестящие участки поверхности объекта) и т. д. В процессе создания материалов используются *карты текстур* (растровые изображения реальных объектов) и *процедурные карты* (изображения, которые генерируются программным путем). В процессе создания объектов могут накладываться несколько карт одновременно. Это определяет эффекты текстурирования. Точное размещение материалов на поверхности объектов достигается *кардитами проецирования*. При создании материалов определяются такие

свойства объектов, как отражение, преломление, прозрачность. При этом можно изменять силу света, тип поверхности. Это реализуется с помощью специальных алгоритмов

Поверхностные полигональные и твердотельные модели отличаются по свойствам и областям применения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Свойства моделей

Поверхностная полигональная модель (Surface Model)	Твердотельная модель (Solid Model)
	
– модель состоит исключительно из внешней поверхности – фактически, это «скорлупа» объекта. Внутри – пустота, что хорошо видно при визуализации в режиме полупрозрачности: становятся видны задние стенки и внутренние контуры; – объект формируется из множества полигонов (треуголь-	– модель визуально воспринимается как сплошное тело, а не как пустотелая оболочка. Поверхности сглажены и реалистично затенены, что подчеркивает ее объемность; – модель содержит информацию о внутреннем пространстве и может обладать физическими свойствами (масса, плотность, инерция и т. д.);

ников или четырехугольников), которые создают сетку (mesh). Она может быть грубой или детализированной в зависимости от разрешения модели; – модели не обладают массой, плотностью и не пригодны для расчетов, связанных с физикой тела. Иногда участки модели как бы «висят в воздухе», намекая на отсутствие структурной целостности	– Solid модель – это строгое тематическое описание, которое полностью определяет форму, объем и внутреннюю структуру объекта. Обычно используется булева геометрия (CSG) или граничное представление (B-Rep); – невозможно заглянуть внутрь объекта: как и в реальном теле, внутренняя часть скрыта
Используются в областях, где важно показать внешний вид объекта, но внутренняя структура не имеет значения. Пример: 3D-модели для визуализации, такие как персонажи в видеоиграх или модели зданий в архитектуре	Используются для точных инженерных расчетов в CAD-системах, где важны физические параметры объекта. Пример: 3D-модели для печати на производстве, моделирование и анализ деформации в конструкциях и сооружениях

Для большинства задач трасологии, включая реконструкцию событий, идентификацию объектов и анализ следов, поверхностного моделирования вполне достаточно.

Большинство следов, изучаемых в трасологии (следы от обуви, транспортных средств, следы взлома), непосредственно связаны с особенностями рельефа поверхности. Поверхностные модели идеально подходят для точной фиксации этих характеристик. Они требуют меньших вычислительных ресурсов и времени для обработки, чем твердотельные модели, позволяют накладывать следы друг на друга, проводить точное сравнение форм, анализ высот и идентифицировать признаки сходства или различия. Твердотельные модели в данном контексте дополнительно не дают никаких преимуществ. Тем не менее, при необходимости 3D-печати потребуются более сложные подходы, к которым относят процессы обратного проектирования.

Реверс-инжиниринг или обратное проектирование – создание цифровой модели объекта по имеющемуся образцу с целью воссоздания его формы, структуры и функциональных особенностей в виде точной цифровой трехмерной модели.

Для реверс-инжиниринга можно использовать несколько устройств. 3D-сканеры – наиболее часто используемое оборудование, которое фиксирует физические атрибуты объекта в цифровом виде. Технология 3D-сканирования необходима для захвата даже самой сложной геометрии, органических форм, а реверс-инженеры могут получить ценные данные о материалах и составе. Другие устройства включают координатно-измерительные машины (КИМ) и альтернативы КИМ. Здесь процесс идет в обратную сторону: от предмета к трехмерной модели.

В основе быстрого прототипирования лежат технологии трехмерной печати, которая появилась в конце 80-х гг. XX в. До середины 90-х гг. она использовалась главным образом в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, связанной с оборонной промышленностью. Широкое распространение цифровых технологий в области проектирования (CAD), моделирования и расчетов (CAE) и механообработки (CAM) стимулировало взрывной характер развития 3D-технологий, и в настоящее время крайне сложно указать область, где в той или иной степени не использовалось бы 3D.

Задача реверсивных технологий – получение прототипа изделия в максимально короткие сроки – остается одной из актуальных задач современного машиностроительного производства. Весь комплекс восстановительных работ: сканирование образца, преобразование его в твердотельную модель и изготовление прототипа, – требует больших знаний, немалого трудолюбия и наличия соответствующего оборудования.

В криминалистике реверс-инжиниринг используют чтобы изучать объемные следы, определять размерные характеристики предметов, которые их оставили, восстанавливать детали сломанных устройств и оружия. Такой подход помогает понять механизм слеодообразования и определить, каким предметом был образован след.

§ 1.3. Виды 3D-сканирования

3D-сканирование (трехмерное сканирование) – преобразование физической формы материального объекта в цифровой вид (цифровой скан), т. е. формирование компьютерной 3D-модели¹.

Основные методы 3D-сканирования включают фотограмметрию, сканирование с использованием структурированного света, лазерное триангуляционное сканирование, сканирование на основе лазерных импульсов и контактное сканирование.

Фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина, изучающая способы определения форм, размеров, положения в пространстве различных объектов и создания 3D-моделей на основе анализа нескольких фотографий, сделанных с разных ракурсов (рис. 1.19).

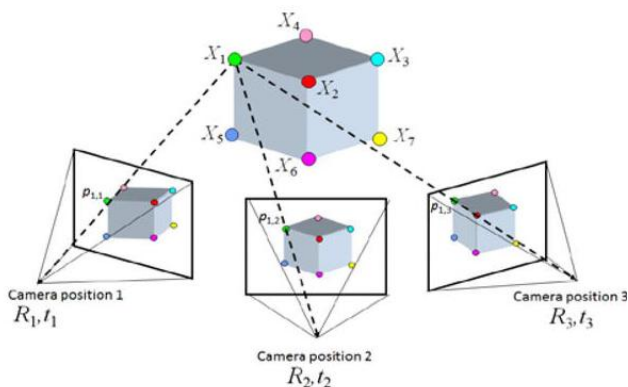


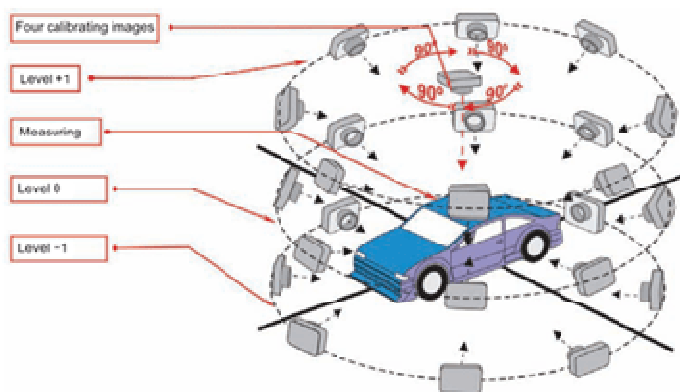
Рис. 1.19. Алгоритм движения камеры для построения 3D-модели объекта методом фотограмметрии

Основной принцип, используемый в фотограмметрии, – триангуляция. При получении перекрывающихся фотографий как минимум с двух различных пространственных точек можно провести линии визирования от каждой камеры к точкам на объекте (рис. 1.19). На пересечении как минимум двух соответствующих линий можно определить точку в трех измерениях. В стереофотограмметрии для

¹ Аксенов А. Ю. Модели и методы обработки и представления сложных пространственных объектов: дис. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2015. 110 с.

этого используются два изображения. В многоизображенческой фотограмметрии количество снимков может быть неограниченным. Таким образом, фотограмметрия использует положение камеры при ее перемещении в трехмерном пространстве для вычисления 3D-координат (x , y , z) объектов.

На практике можно создать точную, масштабную 3D-модель объекта (например, комнаты, автомобиля, ножа, тела) из серии перекрывающихся изображений, снятых с различных позиций (рис. 1.20).



a



б

цифровым зеркальным камерам (DSLR). Это обусловлено рядом технических преимуществ:

Большее разрешение: DSLR-камеры обеспечивают более высокое качество изображений, что позволяет захватывать больше деталей объекта, необходимых для построения точной фотограмметрической модели.

Жесткая фиксация линз: объективы таких камер собраны точнее и надежнее, что позволяет с большей точностью рассчитать геометрические искажения.

Каждый объектив вносит определенные искажения в изображение, выражающиеся в отклонении прямых линий (дисторсия). Бочкообразная и подушкообразная дисторсия представлена на рис. 1.21.

Бочкообразная – при удалении от центра поля зрения оптическое увеличение уменьшается, на изображении объекты по краям поля зрения выглядят сжатыми, пространственное разрешение уменьшается от центра к краям, а само поле зрения камеры растягивается к краям. Фактические углы обзора в этом случае больше расчетных.

Подушкообразная – при удалении от центра поля зрения оптическое увеличение увеличивается, объекты на изображении по краям поля зрения выглядят растянутыми, пространственное разрешение увеличивается от центра к краям, а само поле зрения камеры сжимается. Фактические углы обзора в этом случае меньше расчетных. Подушкообразная дисторсия меньше распространена и может встречаться у телеобъективов.

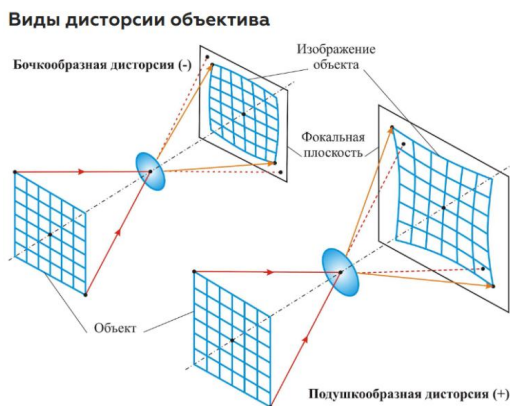


Рис. 1.21. Бочкообразная и подушкообразная дисторсия

Искажения объектива и другие параметры камеры определяются и исправляются при калибровке. Она повышает точность данных.

В программах Photomodeler и Agisoft Metashape (Photoscan) применяется калибровка с использованием шаблонов и мишеней – это ручная калибровка, основанная на применении специальных калибровочных листов (calibration sheets), мишеней (targets), либо откалиброванных масштабных линеек (calibrated scale bars).

Например, в Photomodeler используется лист с мишенями и точками. Его необходимо распечатать на бумаге, зафиксировать на полу или стене, затем сделать не менее четырех фотографий с разных углов (рис. 1.22).

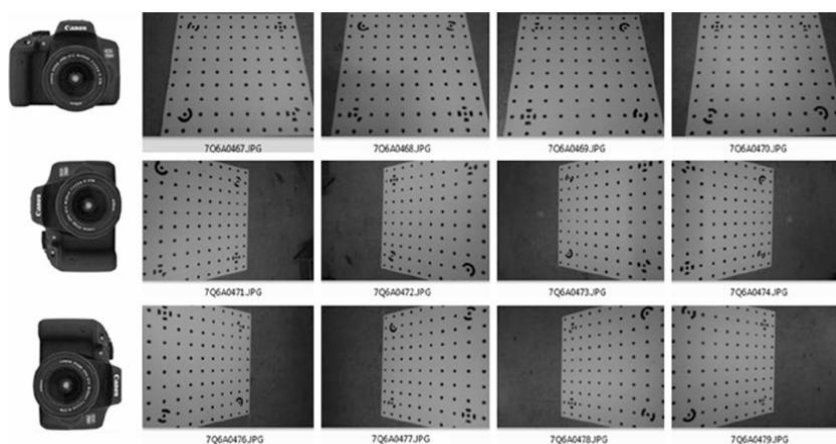


Рис. 1.22. Пример калибровки камеры с использованием программного обеспечения PhotoModeler

На основании этих изображений программа рассчитывает параметры искажения объектива, внутренние параметры камеры (фокусное расстояние, координаты главной точки, коэффициенты искажений и др.).

Размер калибровочного листа должен соответствовать масштабу объекта съемки:

- для мелких объектов ~ 25 × 25 см;
- для интерьеров / помещений ~ 2 × 2 м.

При съемке крупных объектов рекомендуется использовать калибровку по нескольким листам (multi-sheet calibration), размещенным в разных частях сцены.

В программе Agisoft Metashape аналогичный подход может быть реализован с использованием масштабных линеек (рис. 1.23).



а



б

Рис. 1.23. а – масштабные линейки;

б – масштабные линейки, размещенные вокруг небольшого киоска для построения его трехмерной модели методом фотограмметрии

Масштабные линейки следует размещать в пределах сцены или вокруг интересующего объекта таким образом, чтобы мишени на линейках были четко видны на нескольких перекрывающихся изображениях. Следует рассматривать масштабные линейки как часть «области интереса» фотограмметрического проекта и убедиться,

что серия перекрывающихся снимков охватывает пространство за пределами размещения ленток. Когда линейки попадают в серию перекрывающихся фотографий, эти маркеры служат как опорные точки для задания масштаба и одновременно помогают программному обеспечению выровнять изображения¹.

Линейки необязательно должны присутствовать на каждом снимке. Однако они должны быть хорошо охвачены перекрывающимися изображениями с правильной геометрией, чтобы их откалиброванные значения могли быть использованы для точного масштабирования всего фотограмметрического проекта.

Важно не перемещать масштабные линейки во время фотосъемки проекта. Если линейка была случайно задета или сдвинута, ее необходимо удалить со сцены. Не пытаться вернуть ее на место – она не будет находиться в точно том же положении. Масштабные линейки должны сохранять постоянное положение относительно объекта съемки, чтобы обеспечить точность.

При использовании масштабных ленток, размещенных на земле вне основной области объекта съемки, необходимо дополнительно сделать перекрывающиеся фотографии, на которых будут видны эти линейки. Это требуется для того, чтобы можно было использовать точные измерения в проекте.

В более масштабных проектах следует размещать масштабные линейки как можно дальше друг от друга – это позволяет проверить и подтвердить масштаб по всей площади проекта.

Автоматическая калибровка – подход, при котором параметры камеры вычисляются автоматически во время выравнивания (aligning) фотоснимков.

Программа анализирует загруженные изображения объекта съемки, находит на них совпадающие точки (tie points) и на их основе определяет параметры камеры.

Такой метод не требует специальных шаблонов или подготовки, но может давать менее стабильные результаты, особенно при недостаточном перекрытии снимков или слабой текстуре объектов.

Результаты фотограмметрической обработки будут во многом зависеть от качества сделанных фотографий.

¹ Guidelines for Calibrated Scale Bar Placement and Processing // Cultural Heritage Imaging. 2015. URL: https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/CHI_Calibrated_Scale_Bar_Placement_and_Processing.pdf (accessed: 01.06.2026).

Фотографии должны быть четкими, с правильной фокусировкой, низким уровнем шума и сбалансированной экспозицией. Рекомендуется использовать зеркальную камеру (DSLR) с фиксированным объективом. Стабилизацию изображения и коррекцию хроматических аберраций следует отключить. Съемку нужно вести в режиме приоритета диафрагмы с фиксированным значением. Для увеличения глубины резкости следует использовать высокое значение f -числа. Вспышку лучше не применять, так как она может создавать смещающиеся тени и артефакты в 3D-модели; вместо нее допустимо использовать кольцевую вспышку или внешнее освещение. При съемке крупных объектов рекомендуется использовать штатив. При съемке с рук выдержка должна быть не ниже $1/100$ для сохранения четкости. Желательно использовать линейку или другие точные измерительные элементы для масштабирования.

Использование линейки:

1. Важно использовать линейку или указать точное расстояние при съемке крупных объектов или сцен. Это измерение критично для последующей обработки фотографий с целью масштабирования проекта.

2. Рекомендуется иметь несколько различных осей измерения (x , y , z), чтобы проверить правильность масштабирования проекта. Линейка не обязательно должна присутствовать на всех фотографиях, но минимум на 6–10 фотографиях она должна быть видна.

Перекрытие снимков: каждая точка на объекте или в сцене должна быть видна как минимум на трех фотографиях; чем больше снимков, тем лучше (рис. 1.24).

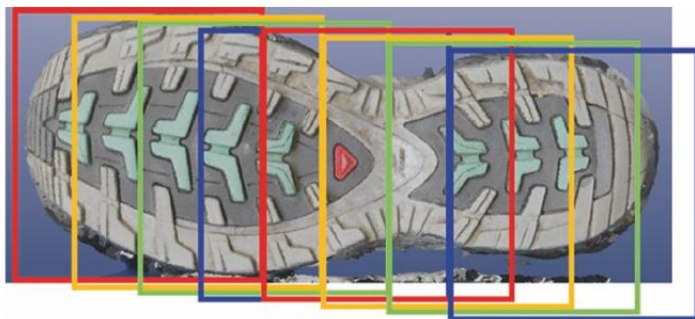


Рис. 1.24. Пример хорошего перекрытия фотографий подошвы обуви для фотограмметрии: каждый цветной квадрат представляет собой отдельную фотографию

При экспериментальной съемке специалистами замечено, что для наиболее качественной модели следа необходимо 20 и более фотоизображений одного следа. Снимки должны выполняться последовательно (по типу техники панорамной съемки) с обязательным перекрытием друг друга минимум на 80–90 % кадра. На качество и детализацию модели также влияет перемещение камеры по высоте относительно следа¹.

По своей точности фотограмметрия сравнима с поверхностным 3D-сканированием². Интеграция в практическую деятельность проходит проще, поскольку полиция уже проводит фотофиксацию места происшествия будь то крупные или мелкие предметы, улицы, здания, следы или тело пострадавшего. Небольшие изменения в протоколах позволяют получить полноценную 3D-документацию без кардинального пересмотра процессов (рис. 1.25).



Рис. 1.25. Пример 3D-моделей оружия, подошвы обуви и здания, полученных с использованием фотограмметрии

Данным методом можно построить трехмерную модель по старым делам. Хотя визуализация на основе старых фотографий будет менее точной, чем при съемке специально для фотограмметрии, тем не менее она может дать новое представление о сцене, помочь выявить ранее незамеченные детали, повлиять на ход расследования или судебного процесса.

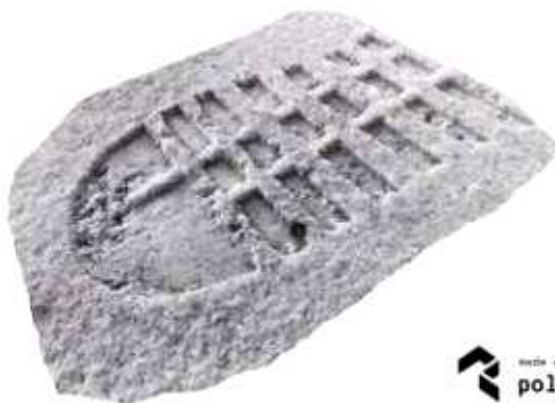
¹ Захаров И. П. Обнаружение, фиксация и изъятие латентных следов обуви под слоем снега: практические рекомендации. М.: ЭКЦ МВД России, 2024. 130 с.

² Urbanova P, Hejna P, Jurda M. Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology // Forensic Science International. 2015. Vol. 250. P. 77–86.

В отличие от 3D-сканирования, метод фотограмметрии имеет ряд значительных преимуществ. Он позволяет эффективно получать 3D-модели следов на снегу, глянцевых, бликующих или темных материалах без необходимости их предварительной обработки (окрашивания). Метод сохраняет свою эффективность даже при низких температурах (рис. 1.26), отсутствии искусственного освещения и источников питания, что делает фотограмметрию удобным и практичным инструментом для работы в полевых условиях, например, на открытых пространствах, где использование более сложных и требовательных к условиям приборов может быть затруднено. К тому же, фотограмметрия характеризуется высокой мобильностью оборудования, возможностью фиксации крупных объектов и территорий, а также относительно низкой стоимостью и удобством применения в полевых условиях.



а



б





б

Рис. 1.26. а – след обуви на тонком слое рыхлого пушистого снега;
б – его 3D-модель, полученная из 46 снимков способом
фотограмметрической съемки с помощью программного обеспечения
Polycam; в – ее увеличенный фрагмент с деталями строения¹

Эти примеры демонстрируют широкие возможности фотограмметрии при работе с мелкими и крупными объектами. С помощью одного и того же метода можно достичь высокой точности в фиксации доказательств:

- оружие, след обуви, транспортного средства, орудия взлома – для анализа формы, размеров и идентификационных признаков;
- транспорт, архитектурные объекты или места происшествий – для последующего анализа, реконструкции событий и визуализации;
- результаты фотограмметрии и 3D-моделирования оказываются крайне полезными в судебно-медицинских исследованиях при реконструировании механизма получения травм. Подтверждением данной возможности является пример, приведенный в одном из исследований, в котором использовалась комбинация методов фотограмметрии и КТ-сканирования для анализа травм жертвы. В данном случае на примере с женщиной, которая была ранена кухонным

¹ Захаров И. П. Обнаружение, фиксация и изъятие латентных следов обуви под слоем снега. С. 94.

ножом¹. 3D-модели травм и оружия, созданные с помощью фотограмметрии, позволили визуально оценить положение ножа во время нападения (рис. 1.27).

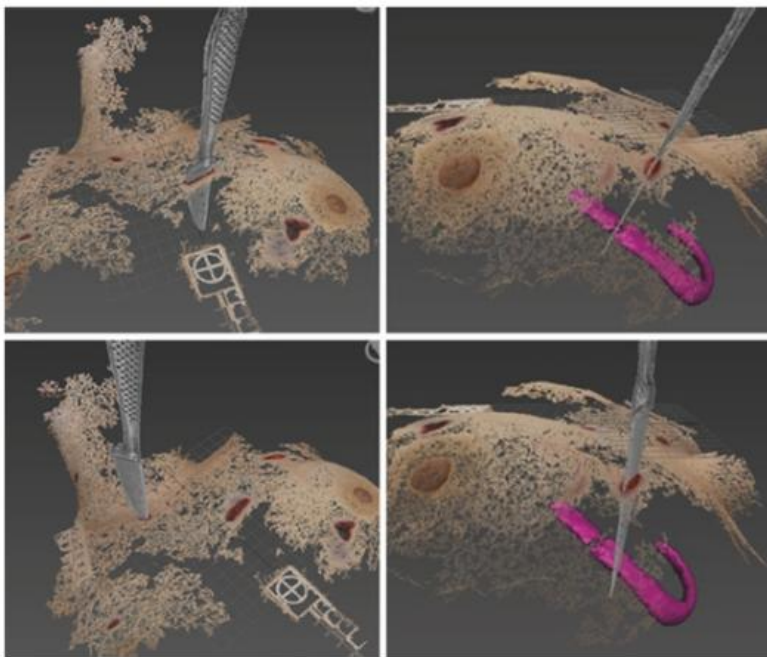


Рис. 1.27. 3D-модели грудной клетки, полученные с использованием фотограмметрии и КТ-сканирования, и 3D-модель ножа, созданная с помощью фотограмметрии, используются для сопоставления повреждений с орудием, вызвавшим травмы

Сканирование с использованием структурированного света – это метод, основанный на проецировании на объект серии световых паттернов (обычно в виде полос или точек) и последующем анализом их деформации, вызванной изменением геометрии поверхности объекта. Деформация паттерна при наложении на поверхность

¹ González-Aguilera D., Rodríguez-González P. Photogrammetry and 3D Modelling for Crime Scene Reconstruction: A Case Study in Forensic Science // Journal of Forensic Sciences. 2010. Vol. 55 (6). P. 1623–1628.

позволяет системе получить информацию о глубине и поверхности объектов в области сканирования относительно устройства¹.

Сканер со структурированным светом проецирует на объект серию световых линий. Камера или несколько камер фиксируют искажения этих паттернов с разных точек обзора, и на основе полученных данных программное обеспечение восстанавливает поверхностную 3D-модель объекта (рис. 1.28).

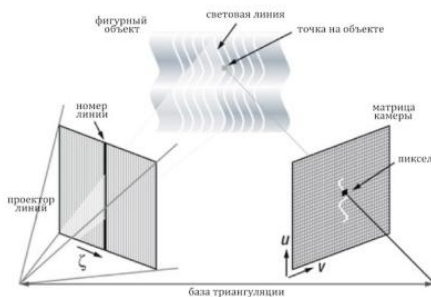


Рис. 1.28. Процесс получения поверхностной трехмерной модели детали с помощью сканера Calibry Mini, основанного на принципе использования структурированного света

3D-сканер может состоять только из одного проектора и одной камеры. Однако его возможности будут ограничены, поэтому в большинстве случаев используется несколько камер для расширения диапазона применения.

3D-сканирование опирается на законы оптики, что создает проблемы при оцифровке отражающих или прозрачных поверхностей. Эти материалы вызывают появление бликов, многократно преломляя и отражая сетку, что приводит к ошибкам в ее детектировании и появлению артефактов на сканируемом объекте. Возможно, что свет будет отражаться в сторону или проходить через объект насквозь, в результате чего камера не сможет зафиксировать эти лучи и объект станет невидимым для сканера. Аналогичная ситуация возникает с очень темными поверхностями, которые поглощают свет, делая сетку труднодоступной для камеры. Для решения этих

¹ Хисматуллина В. Т. Структурированный свет в Kinect // Наука и образование сегодня. 2017. № 5 (16). С. 25–26.

проблем используется матирующий спрей, который наносится на поверхность объекта.

3D-сканер Calibry Mini состоит из геометрической и текстурной камеры, проектора, который проецирует световую сетку, и текстурной вспышки. Задняя панель 3D-сканера включает в себя элементы для подключения, управления устройством и визуализации панели управления (рис. 1.29). В моделях Calibry применяется проектор с белым и синим светодиодам.



Рис. 1.29. Интерфейсы и элементы управления 3D-сканера Calibry Mini

Проектор создает световые лучи в форме сетки, которые искажаются при попадании на сканируемый объект. Эти деформации фиксируются геометрической камерой. Наблюдая из точки, отличной от источника, формирующего полосу, и используя деформацию этой полосы, вызванную различным преломлением луча из-за криволинности поверхности, в камере измеряется расстояние от каждой точки и, таким образом, воссоздается 3D-объем. Анализ этих изменений позволяет сформировать трехмерное облако точек, которое при необходимости можно преобразовать в полигональную модель. Процесс сканирования с помощью 3D-сканеров происходит покадрово. Каждый кадр содержит небольшой фрагмент объекта с одного ракурса. Поэтому для качественного сканирования необходимо охватить объект с различных углов. Чем больше кадров ис-

пользуется для сканирования, тем плотнее будет облако точек, при этом увеличивается размер файла (рис. 1.30).

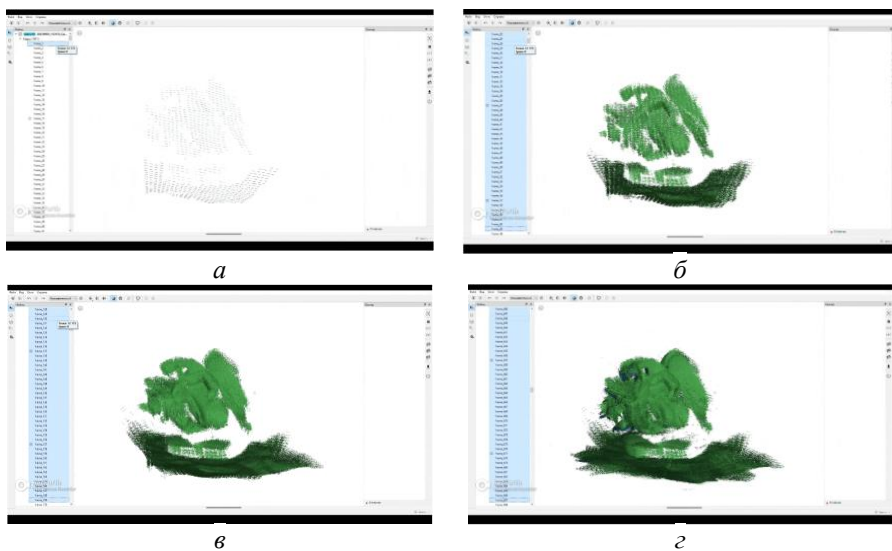


Рис. 1.30. Плотность облака точек в зависимости от количества захваченных кадров: а – 1 кадр; б – 63 кадра; в – 169 кадров; г – 687 кадров

Процесс объединения кадров облака точек состоит в последовательной обработке каждого кадра, что позволяет объекту постепенно обретать свою форму. Когда поверхность объекта обладает сложной геометрией, эффективно используется геометрический трекинг, что позволяет точно сшить кадры и создать детализированную 3D-модель. Однако для однообразных, мало текстурированных поверхностей требуется использование дополнительных ориентиров. В таких случаях для сшивания кадров могут быть применены маркеры или текстурный трекинг, где ориентиром служат специально размещенные маркеры или контрастные переходы на поверхности объекта. Кадры, полученные с текстурной камеры, могут быть использованы для дальнейшего текстурирования 3D-модели, что существенно повышает ее реалистичность.

Триангуляционные лазерные 3D-сканеры являются одними из наиболее точных инструментов для цифровой фиксации объек-

тов. Особенностью таких устройств является использование лазерного луча для получения данных о форме объекта и его точных координатах в пространстве.

При **лазерной триангуляции** посылается сигнал, который распространяется с характерной скоростью. Он отражается от объекта и возвращается в датчик. Если известна скорость распространения в среде, то умножение скорости на половину времени между моментами излучения и приема импульса даст расстояние от излучателя до объекта, который отразил сигнал. Угол отражения может быть интерпретирован как информация о рельефе (рис. 1.31).

Триангуляционный метод контроля основан на расчете искомого расстояния через соотношения треугольника с использованием известных параметров системы. Технология называется триангуляцией потому, что камера, лазерный излучатель и сама лазерная точка на поверхности объекта образуют своеобразный треугольник. В этой системе известна длина одной из сторон треугольника – это расстояние между лазерным излучателем и камерой, также известен угол лазерного излучателя, а угол камеры определяется по расположению лазерной точки в поле обзора камеры. Эти три характеристики полностью формируют размер треугольника зерной точки.

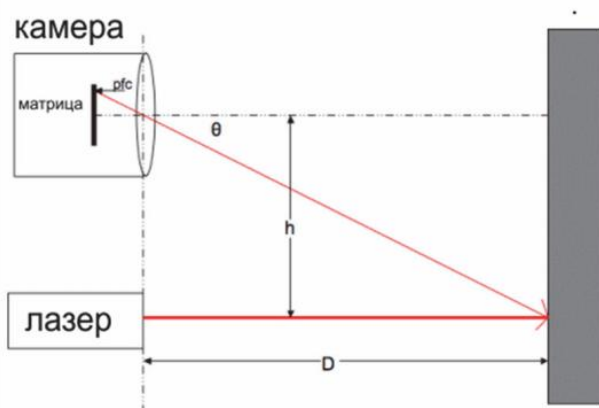


Рис. 1.31. Принцип работы триангуляционного лазерного сканера¹

¹ Гужов В. И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. 82 с.

Из рис. 1.31 видно, что расстояние D может быть рассчитано по формуле:

$$D = h : \operatorname{tg}\theta,$$

где h – фиксированное расстояние.

Угол θ можно определить как:

$$\theta = \operatorname{pfc} * \operatorname{grc} * \operatorname{ro},$$

где pfc – номер пикселя центра светлой точки от центра изображения;

grc – радиан на пиксель;

ro – компенсация.

Зная углы между лазером, камерой и точкой на объекте, можно вычислить координаты этой точки в 3D-пространстве. Каждое положение лазерного луча и камеры дает точку, из которых с помощью математических расчетов формируется полная 3D-модель объекта.

Для получения полной информации о поверхности объекта сканирование проводится с нескольких различных позиций или углов, после чего данные комбинируются в одну единую 3D-модель.

Триангуляционные сканеры лучше всего подходят там, где важны детализация и точность мелких элементов, но есть ограничения по поверхности и размеру.

Модели, использующие в своей работе принцип триангуляции (рис. 1.32, табл. 1.2):

- RangeVision PRO использует лазерную триангуляцию (с проекцией структурированного света, совмещенной с триангуляционным методом);

- Konica Minolta Range 7 – классическая лазерная триангуляция;

- Creaform HandySCAN официально относится к лазерным сканерам на основе технологии лазерного захвата с несколькими линиями, использует фотограмметрию в связке с триангуляцией, но включает и инерциальные системы отслеживания (ближе к гибридной системе).

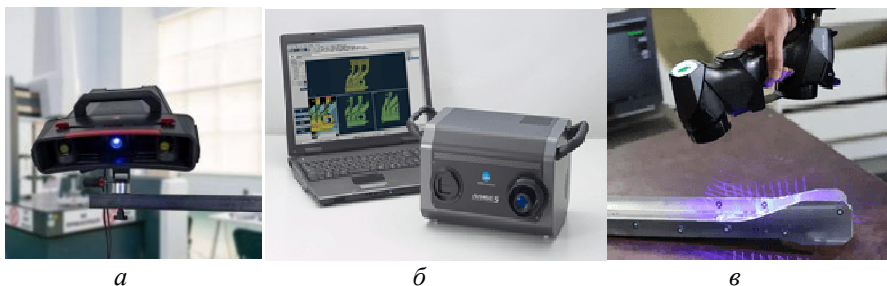


Рис. 1.32. Примеры сканеров, использующих в своей работе принцип триангуляции:

а – RangeVision PRO; б – Konica Minolta Range 7; в – Creaform HandySCAN

Таблица 1.2

Сравнение триангуляционных лазерных и структурно-световых 3D-сканеров по ключевым параметрам

Параметр	RangeVision PRO	Konica Minolta Range 7	Creaform HandySCAN
<i>Принцип работы</i>	Лазер + структурный свет (триангуляция)	Лазерная триангуляция	Лазерная триангуляция + фотограмметрия
<i>Точность</i>	0,04 мм	0,04 мм	0,03–0,04 мм
<i>Зона сканирования</i>	0,3–1,2 м	0,4 м	0,2–1,0 м
<i>Области применения</i>	криминалистика, протезирование, реверс инжиниринг, реставрация	протезирование, реверс инжиниринг, реставрация	криминалистика, протезирование, реверс инжиниринг, реставрация
<i>Портативность</i>	Средняя	Ограниченная	Высокая
<i>Требуется матирование</i>	Да	Да	Иногда

К основным характеристикам относится высокая точность измерений – обычно в пределах 10–50 микрон. Точность зависит от устройства, а также от условий сканирования. В криминалистике это позволяет зафиксировать мельчайшие детали объемных следов, например, повреждений (рис. 1.33).

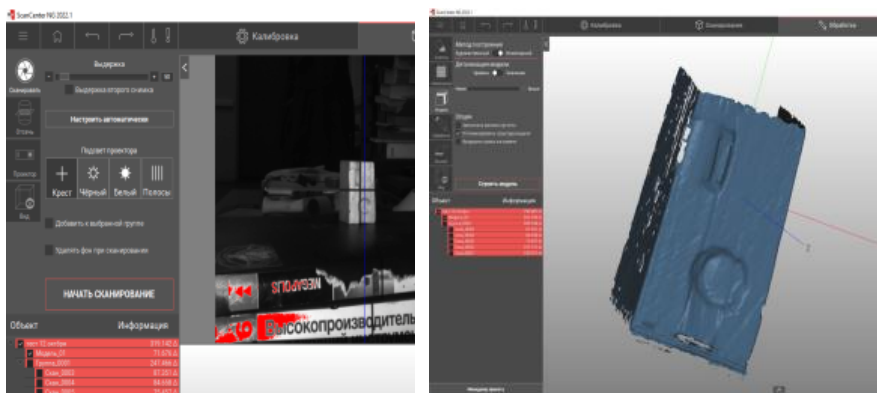


Рис. 1.33. Создание цифровой копии поверхности деревянного бруска с помощью 3D-сканера Range Vision Pro

Большинство сканеров имеют диапазон от нескольких сантиметров до нескольких метров, поэтому они подходят для сканирования объектов среднего размера, таких как следы преступления или повреждения поверхности. Некоторые модели компактны и могут использоваться в полевых условиях, что удобно для криминалистики.

Время сканирования зависит от устройства и сложности поверхности. Быстрые сканеры позволяют создать точную 3D-модель за несколько минут.

В реальных условиях возможны погрешности, например, из-за деформации объекта (температура) или особенностей отражения лазерного луча от разных поверхностей. Поэтому сканеры часто оснащаются системой автоматической компенсации ошибок, что повышает точность данных, получаемых в процессе сканирования.

Ограничения:

– триангуляционные лазерные 3D-сканеры являются чувствительными к внешнему освещению, что может ограничивать их ис-

пользование при ярком солнечном свете или в условиях высокой контрастности;

- имеют трудности с работой на зеркальных, прозрачных или очень темных поверхностях, потому что лазер может плохо отражаться от таких материалов;

- для получения качественной 3D-модели необходимо проводить сканирование объекта с разных углов, что требует дополнительного времени для позиционирования сканера.

- чтобы вычислить точное местоположение каждой точки на объекте, важно установить систему координат, относительно которой будут происходить все измерения.

Сканирование на основе лазерных импульсов (время полета, Time-of-Flight).

Времяпролетный 3D-лазерный сканер – это активный сканер, который использует лазерный свет для зондирования объекта. В основе этого типа сканера лежит времяпролетный лазерный дальномер. Лазерный дальномер определяет расстояние до поверхности, измеряя время прохождения импульса света туда и обратно. Лазер используется для излучения импульса света, и измеряется количество времени до того, как отраженный свет будет обнаружен детектором (рис. 1.34).

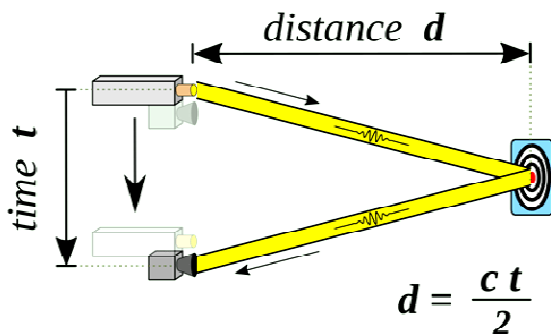


Рис. 1.34. Принцип работы 3D-сканера, основанного на измерении времени полета лазерного луча

Принцип работы заключается в измерении времени, за которое лазерный импульс достигает поверхности объекта и возвращается обратно к датчику. Зная скорость света, устройство определяет расстояние по формуле:

$$d = (c \times \Delta t) : 2,$$

где d – расстояние до объекта,

c – скорость света в вакууме (299 792 458 м/с),

Δt – время прохождения импульса туда и обратно.

Скорость света – фундаментальная физическая константа, на которой основаны Time-of-Flight (ToF) сканеры. Она позволяет точно вычислять расстояния по времени прохождения лазерного импульса. Один импульс проходит 1 м примерно за 3,3 наносекунды, что обеспечивает высокую скорость и точность измерений, особенно при сканировании крупных объектов, таких как здания, или мест ДТП.

Данные системы позволяют измерять координаты точек на расстоянии от нескольких метров до сотен метров. При этом требуется очень высокая точность измерения времени: около 1 наносекунды для точности порядка 15 см, а для точности 1 мм – уже около 3 пикосекунд.

ToF-сканеры обычно включают два основных компонента: лазерный излучатель (обычно с длиной волны 905 или 1 550 нм), который отправляет импульс на объект, и фотодетектор, который фиксирует отраженный сигнал и передает данные для расчета времени полета.

Для ускорения сканирования могут использоваться несколько лазерных лучей, позволяющих одновременно захватывать большую область.

При отражении сигнал может изменяться в зависимости от угла, текстуры и материала поверхности объекта. Это явление называется диффузным отражением. Сканеры учитывают эти особенности, используя методы фильтрации сигнала, что повышает точность измерений.

Сканеры ToF, как правило, работают на инфракрасном лазере (в спектре от 700 до 1 600 нм), что дает им возможность работать при плохом освещении, в отличие от оптических систем на основе структурированного света, которые могут быть ограничены дневным освещением. Их основное преимущество заключается в спо-

способности работать на больших расстояниях и скорости получения данных.

Три наиболее известных ToF-сканера, которые применяются в разных областях, включая криминалистику: Leica RTC360, FARO Focus S350, Trimble X7 (рис. 1.35).



а



б



в

Рис. 1.35. Использование лазерных 3D-сканеров Leica RTC360 (а)¹, FARO Focus S350 (б)² и Trimble X7 (в)³ для фиксации обстановки на месте происшествия с целью документирования следовой информации и создания трехмерной модели сцены

¹ Olah TKP dengan 3D Laser Scanner // Alatujigeoteknik: website. URL: <https://alatujigeoteknik.com/olah-tpk-dengan-3d-laser-scanner/> (accessed: 01.06.2026).

² Faro Can Be Used to Understand and Make or Break a Courtroom Case // 3dprint: website. URL: <https://3dprint.com/115609/faro-virtual-reality-scanners/> (accessed: 01.06.2026).

³ FCIR Terrestrial Laser Scanning Solution // RIEGL: website. URL: <https://www.riegl.co.uk/fcir> (accessed: 01.06.2026).

Из-за своих габаритов, конструктивных особенностей и характеристик (в первую очередь большой дальности и высокой скорости сканирования при умеренной точности) применяются в основном для документирования больших объектов и сцен, таких как:

- места происшествий (ДТП, пожары, обрушения);
- места совершения преступлений на открытых пространствах;
- крупные здания, территории, инженерные сооружения.

Их разрешающая способность (1–5 мм) уступает ближним (триангуляционным или структурированным) сканерам. Сканер обычно имеет значительные размеры и вес (до 5–10 кг), требует установки на штатив и времени на настройку. Мелкие объектыToF-сканеры фиксируют хуже – для этого больше подходят триангуляционные или структурированные сканеры.

Таким образом, основная область применения ToF-сканеров в криминалистике – это комплексная фиксация общей обстановки:

- взаимное расположение предметов;
- следы борьбы;
- траектории движения;
- следы от выстрелов;
- автомобильные следы и т. д.

В научной литературе и судебной практике подобные сканеры часто описываются как «сценические» (scene scanners), т. е. устройства для «сценографии» места происшествия.

Импульсный метод измерения расстояний по точности уступает фазовому методу. Это происходит потому, что фактическая точность каждого измерения зависит от ряда параметров, каждый из которых может оказать влияние на точность конкретного измерения. К ним относятся:

- длительность и форма (в частности, крутизна переднего фронта);
- отражательные характеристики объекта;
- оптические свойства атмосферы;
- текстура и ориентация элементарной поверхности объекта, вызвавшей отражение зондирующего луча по отношению к линии визирования.

Фазовый метод измерения представляет собой один из способов определения расстояния до объекта с помощью измерения фазы светового сигнала, отраженного от объекта, и основан на сравнении

фазовых сдвигов между переданным и отраженным сигналами, что позволяет вычислить расстояние с высокой точностью (рис. 1.36).

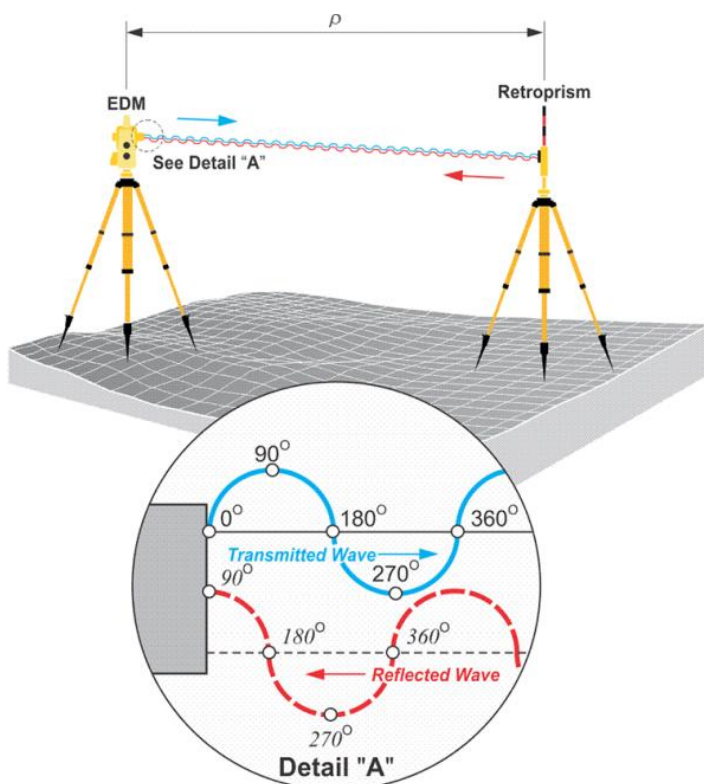


Рис. 1.36. Принцип работы 3D-сканера, основанного на фазовом методе измерения

Процесс можно описать следующим образом: лазерный излучатель (или другая оптическая система) генерирует модулированный световой сигнал с определенной частотой или фазой. Этот сигнал посылается к объекту. Когда световой сигнал достигает объекта, он частично отражается и возвращается к датчику. Приемник в сканере измеряет фазовый сдвиг между переданным и отраженным сигналом. Разница в фазах зависит от расстояния, которое прошел сигнал.

Фазовый сдвиг можно использовать для вычисления расстояния:

$$\rho = (N\lambda + d) : 2,$$

где N – число полных длин волн;

d – дробная часть длины волны, соответствующая удвоенному расстоянию.

В зависимости от оборудования применяются разные методы фазовых измерений.

Одночастотный фазовый метод использует сигнал одной частоты. В нем расстояние определяется по разнице фаз между излученным и отраженным сигналом.

Многочастотный фазовый метод использует несколько частот, что увеличивает диапазон измерений и повышает точность. Он также снижает ошибки, связанные с неоднозначностью фазового сдвига на больших расстояниях.

Фазовый метод с амплитудной модуляцией (АМ / FM) сочетает фазовые измерения с модуляцией сигнала, что повышает точность и устойчивость работы при изменении внешних условий, например, освещенности.

Преимущества фазового метода заключаются в высокой точности измерений (до миллиметров), что делает его полезным в криминалистике, геодезии и 3D-моделировании. Он менее чувствителен к внешнему освещению, поэтому может применяться в темных условиях. Кроме того, такие системы обычно компактны и удобны для использования в труднодоступных местах.

Ограничения фазового метода связаны с неоднозначностью фазового сдвига, которая ограничивает максимальную дальность измерений. При больших расстояниях возникает ошибка (амбигуальность фаз), поэтому для ее устранения применяются многочастотные системы.

На малых дистанциях фазовый метод может уступать по точности другим технологиям, например, триангуляции, также на него могут влиять электромагнитные помехи и колебания условий среды, что снижает точность измерений.

Фазовый метод широко применяется там, где требуется высокая точность. В криминалистике он используется для создания 3D-моделей мест преступлений, что помогает зафиксировать обстановку и анализировать события. В геодезии – для построения детализированных карт местности. В архитектуре – для сканирования

зданий и создания точных планов и чертежей. В автономных транспортных системах и робототехнике – для формирования 3D-карты окружающей среды для навигации.

К системам, использующим фазовый метод, относятся Leica BLK360, FARO Focus S350 и Trimble TX8.

Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и их выбор зависит от конкретных задач. Фотограмметрия может быть полезна для получения моделей крупных объектов, где не требуется высокой точности, в то время как ToF и фазовый метод обеспечивают большую точность на средних расстояниях.

В таблице 1.3 представлен сравнительный анализ методов по таким параметрам, как принцип работы, преимущества, область применения, необходимость матирования поверхности и возможность получения модели с текстурой.

Матирование требуется, когда объект имеет слишком блестящую или отражающую поверхность (например, стекло, металл или зеркала), что затрудняет точное считывание данных. Матирование помогает улучшить качество отражения лазерного луча или структуры света.

Текстурирование активно используется в фотограмметрии и поддерживается триангуляционным методом и методом структурированного света, особенно в случаях, когда необходимо добавить визуальные детали (например, текстуры для создания более подробной модели). В фазовом методе и методе времени полета (ToF) текстуры не добавляются, поскольку они ориентированы на точность геометрии, а не на визуальную составляющую.

Таблица 1.3

Сравнение методов моделирования между собой

Метод моделирования	Принцип работы	Преимущества	Требует матирования	Поддерживает текстурирование	Области применения в криминалистике
Фотограмметрия	Использует фотографии, сделанные с разных ракурсов, для создания 3D-моделей объектов через анализ их геометрических характеристик и перекрытие изображений	Высокая доступность за счет использования стандартного оборудования, подходит для создания трехмерных моделей малых, средних и больших объектов	нет	да	Подходит для анализа объектов, таких как следы орудия взлома, следы обуви, зубов, транспортных средств. Может использоваться для документирования не-большой сцены преступления
Метод структурного света	Использует проекцию структуры (например,	Простой в использовании, хорошо подходит для	да	да	Подходит для анализа объектов, таких как

Метод моделирования	Принцип работы	Преимущества	Требуется ли матирование	Поддерживает ли текстурирование	Области применения в криминалистике
	решетки или (точек) на объект и анализирует деформацию этой структуры при ее отражении от объекта для определения расстояния	работы с небольшими объектами			следы орудия взлома, следы обуви, зубов, транспортных средств
Триангуляционный метод	Использует данные о положении камеры и лазерного источника для вычисления 3D-координат точки на основе углов, образующих треугольник	Высокая точность на близких расстояниях, подходит для объектов, обладающих сложной формой и детализацией	да	да	Документирование мест происшествия, создание 3D-моделей для реконструкции сцены преступления или ДТП

Метод моделирования	Принцип работы	Преимущества	Требуется матирование	Поддерживает текстурирование	Области применения в криминалистике
Метод времени полета (ToF)	Измеряет время, которое требуется световому импульсу для того, чтобы пройти от сканера до объекта и вернуться обратно	Высокая скорость измерения для больших объектов и сцен, высокая дальность работы, независимость от освещения	нет	нет	Документирование мест происшествия, создание 3D-моделей для реконструкции сцены преступления или ДТП
Фазовый метод	Измеряет разницу в фазах между переданным и отраженным сигналом для расчета расстояния	Высокая точность на средних дистанциях, высокая скорость работы, независимость от внешнего освещения	нет	нет	Документирование мест происшествия, создание 3D-моделей для реконструкции сцены преступления или ДТП

Бесконтактные 3D-сканеры выполняют дистанционное сканирование, направляя на объект поток излучения (лазер, свет) и анализируя его отражение. Они делятся на две категории:

1. **Активные** – используют сгенерированный луч (лазерный или структурированный свет), который, отражаясь от поверхности, формирует данные о геометрии объекта.

2. **Пассивные** – измеряют параметры окружающего излучения (например, время прохождения луча до объекта и обратно или расстояние до конкретной точки в пространстве) без активного воздействия на объект.

Наиболее перспективными для использования в экспертно-криминалистической деятельности являются бесконтактные методы 3D-сканирования, поскольку отсутствие прямого взаимодействия прибора и объекта исключает его повреждение при исследовании, что позволяет фиксировать доказательственную информацию в достаточно сложных ситуациях.

В то же время 3D-сканеры подразделяются:

- на портативные (ручные) – компактные переносные модели, которые можно применять в лабораторных и полевых условиях, однако они имеют ограниченные технические возможности;

- настольные – переносные модели, отличающиеся расширенной функциональностью и создающие качественные трехмерные модели. Хорошо подходят для проведения работ в лабораториях, возможности применения в полевых условиях ограничены;

- стационарные – модели, предназначенные для сканирования больших пространств и множества объектов одновременно.

§ 1.4. Правовые основы применения технологий 3D-сканирования

Применение 3D-сканирования регулируется законодательством, которое устанавливает к ним ключевые требования. 3D-данные и модели могут быть приняты в качестве доказательств только при соблюдении требований достоверности, непрерывности и надежности.

Обеспечение точности данных, получаемых с помощью 3D-сканеров и фотограмметрии, имеет большое значение для соблюдения принципа допустимости доказательств в судебных разбирательствах.

Если 3D-технологии используются для сбора информации (например, для создания 3D-моделей объектов или лиц, связанных с преступлением), то необходимо соблюдать нормы законодательства о защите персональных данных. В странах с развитой правовой системой, таких как Европейский союз (в рамках Общего регламента защиты данных – GDPR), данные, содержащие личную информацию, должны обрабатываться с согласия субъектов данных и в строгом соответствии с правовыми нормами.

Важным элементом правовой базы является правильное документирование и хранение полученных 3D-данных. В юридической практике используются цифровые следы (например, файлы облаков точек или 3D-моделей), которые должны быть сохранены в неизменном виде для того, чтобы их можно было предъявить в суде как достоверные доказательства. Это требует создания системы, в которой все операции с данными – от их получения до хранения – будут документированы и проверяемы.

Еще одной важной правовой категорией является квалификация экспертов, которые занимаются анализом 3D-данных. В большинстве юрисдикций эксперты, использующие 3D-сканеры и другие методы цифрового анализа, должны иметь соответствующую квалификацию и опыт, чтобы их заключения могли быть приняты в суде. Экспертная деятельность должна основываться на научных методах и принципах, что регулируется национальными стандартами в сфере криминалистики и судебной экспертизы.

В Уголовно-процессуальном кодексе Российской Федерации (далее – УПК РФ)¹ в ч. 6 ст. 164 говорится, что при проведении следственных действий для фиксации следов преступлений может применяться современная цифровая техника.

В соответствии с ч. 3 ст. 204 УПК РФ материалы, иллюстрирующие заключение эксперта (фотографии, схемы, графики и т. п.), прилагаются к заключению и являются его составной частью.

В статье 10 федерального закона от 31 мая 2021 года № 73-ФЗ «О государственной судебно-экспертной деятельности»² поясняется,

¹ Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18.01.2001 № 174-ФЗ (ред. от 23.09.2021) // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс».

² О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: федер. закон от 31.05.2001 № 73-ФЗ (ред. 01.07.2021) // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс».

что объектами судебной экспертизы могут быть все вещественные доказательства, добытые в ходе следственных действий. В статье 25 указанного закона отмечено, что иллюстрации объектов исследования (к которым можно отнести сканированные 3D-материалы) прилагаются к заключению эксперта.

Статья 11 федерального закона «О полиции»¹ гласит: «Полиция в своей деятельности использует достижения науки и техники». Реализация этого принципа опирается на многолетний положительный опыт организации и осуществления в системе МВД России собственной научно-исследовательской деятельности, использование результатов научных исследований, проводимых научно-исследовательскими учреждениями иных ведомств. Например, научно-исследовательский институт криминалистики, на базе которого впоследствии сформировался ВНИИ МВД России, был создан в 1945 г., а его предшественник – научно-технический отдел – входил в состав Главного управления милиции НКВД СССР и занимался внедрением научно-технических средств в работу милиции, борющейся с уголовной преступностью.

Следовательно, эксперту разрешается использование современной техники, в том числе 3D-сканеров и метода фотограмметрии, для решения поставленных перед ним задач.

Однако по-прежнему остается актуальным вопрос об обеспечении достоверности информации, полученной с применением цифровых технологий, в частности 3D-сканеров. Это связано с тем, что в большинстве своем 3D-сканеры не являются сертифицированными средствами измерений, прошедшими соответствующую поверку. Поэтому правильность (достоверность) сделанных ими замеров и доказательственная значимость трехмерных моделей следов и объектов могут подвергаться сомнению. Тем не менее, нельзя не признать, что 3D-сканеры – это эффективные высокоточные приборы, обладающие минимальной погрешностью измерений при правильной работе с ними.

Чтобы точность измерений и достоверность криминалистически значимой информации, зафиксированной в 3D-модели следа или объекта, сделанной с помощью соответствующего сканера, не под-

¹ О полиции: федер. закон от 07.02.2011 № 3-ФЗ // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс».

вергались сомнению, при использовании данного оборудования необходимо руководствоваться правилами, принятыми при использовании цифровых средств фиксации в экспертно-криминалистической деятельности:

- для получения цифровых моделей объемных следов или объектов с целью их дальнейшего исследования при использовании портативного или стационарного сканирующего устройства произвести сканирование и сборку данных;

- действия эксперта (специалиста) подробно (пошагово) описать в заключении эксперта или справке об исследовании (при этом перечислить все использовавшиеся при этом приборы и специализированное программное обеспечение с указанием версии);

- всю цифровую информацию, полученную с помощью 3D-сканера, занести в фототаблицу и записать на компакт диск (CD-R) либо флеш-карту с защитой от перезаписи и внесения правок, которые приложить к заключению эксперта или справке об исследовании;

- при наличии у 3D-сканера сертификата средства измерения, целесообразно это указать в заключении эксперта или справке об исследовании с приложением копии сертификата с подписью эксперта (специалиста) и печатью подразделения;

- заключение эксперта или справка об исследовании оформляются при этом по стандартным требованиям.

Контрольные вопросы по теме

«История развития технологии 3D-сканирования»

1. В чем заключается значение 3D-сканирования и фотограмметрии в криминалистике?

2. Какие ключевые технологические прорывы повлияли на появление современных 3D-сканеров?

3. Когда появились первые коммерчески доступные лазерные 3D-сканеры?

4. Какие этапы развития прошла фотограмметрия с момента ее возникновения?

5. Какие задачи решаются с помощью объемной фиксации объектов в экспертной практике?

6. В чем преимущество применения трехмерных моделей по сравнению с традиционными методами фиксации следов?

7. Каковы основные направления научно-технического прогресса, повлиявшие на развитие объемной фиксации в криминалистике?

8. Какие области науки и техники являются основой для внедрения 3D-технологий в судебно-экспертную практику?

9. Почему важно изучение теоретических основ 3D-сканирования при подготовке судебных экспертов?

10. В чем заключается междисциплинарный характер технологий объемной фиксации?

Контрольные вопросы по теме

«Методы 3D-сканирования в криминалистике»

1. Какие основные методы 3D-сканирования существуют? Перечислите.

2. Какой принцип лежит в основе фотограмметрии?

3. Какие требования предъявляются к качеству фотографий для построения 3D-моделей?

4. Почему предпочтительнее использовать цифровые зеркальные камеры (DSLR) для фотограмметрии?

5. Что такое геометрические искажения объектива? Какие их виды вы знаете?

6. Почему искажения объектива необходимо корректировать и как это делается?

7. Какие методы калибровки камеры используются в фотограмметрии?

8. Какую роль играют масштабные линейки в процессе фотограмметрического моделирования?

9. Какие условия необходимо соблюдать при размещении масштабных линеек для калибровки?

10. Какие преимущества фотограмметрии выделяются для работы в полевых условиях?

11. Как итоговые 3D-модели фотограмметрического анализа могут использоваться в криминалистике?

12. Что такое метод сканирования со структурированным светом и как он работает?

13. Почему при сканировании объектов со стеклянными, зеркальными или очень темными поверхностями возникают трудности? Как эти проблемы решаются?

14. Какие основные компоненты входят в состав 3D-сканера Calibry Mini и как они взаимодействуют?

15. Что такое облако точек и как его плотность зависит от количества кадров сканирования?

16. Для чего используются маркеры и текстурный трекинг при объединении кадров 3D-сканирования?

17. В чем суть метода лазерной триангуляции и как на основе него определяется расстояние до объекта?

18. Какие преимущества и ограничения имеет триангуляционный лазерный 3D-сканер?

19. Какие модели 3D-сканеров используют принцип лазерной триангуляции? Назовите минимум три.

20. Что такое метод времени полета (Time-of-Flight) в 3D-сканировании? Как он измеряет расстояние до объекта?

21. Какие типы объектов и сцен лучше всего сканируются с помощьюToF-сканеров?

22. Каковы основные компонентыToF-сканера?

23. Какие факторы влияют на точность измерений в импульсных лазерных 3D-сканерах?

24. ПочемуToF-сканеры часто называют «сценическими» сканерами?

25. Почему для точного сканирования необходимо проводить съемку с разных углов?

26. Что такое калибровка системы сканера и почему она важна?

27. Как изменяется размер файла модели при увеличении количества захваченных кадров?

28. Почему структурно-световые сканеры более ограничены в работе при ярком дневном свете по сравнению сToF-сканерами?

29. Чем отличается фазовый метод от метода триангуляции?

30. Почему важно использовать многочастотный фазовый метод на больших расстояниях?

31. Как влияет отражающая поверхность объекта на качество фазового измерения?

32. Когда требуется матирование поверхности объекта при 3D-сканировании?

33. Может ли фазовый метод создавать текстурированные 3D-модели? Почему?

34. В чем заключается процесс измерения расстояния в фазовом методе?

ГЛАВА 2. ФИКСАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛЕДОВ С ПОМОЩЬЮ ФОТОГРАММЕТРИИ

Фотограмметрия представляет собой метод измерения и моделирования объектов по их изображениям, полученным с различных ракурсов. В трасологии она применяется для документирования и анализа объемных следов, таких как следы обуви, шин или орудий взлома, с хорошей точностью и сохранением пространственных характеристик.

Как метод пространственных измерений на основе фотографий фотограмметрия возникла в середине XIX в. Первые теоретические положения были сформулированы немецким геодезистом Альбрехтом Мейденбауэром (А. Meydenbauer) в 1858 г., который считается одним из основателей архитектурной фотограмметрии. Его работы, опубликованные в журнале *Zeitschrift für Bauwesen*, положили начало применению фотографии в качестве измерительного инструмента¹.

Активное развитие цифровых методов обработки изображений в конце XX – начале XXI в. открыло новые возможности в области судебных экспертиз, особенно в трасологии. Применение цифровой фотограмметрии позволило фиксировать объемные следы с высокой точностью без физического контакта с объектом, что особенно важно в случае легко разрушаемых следов².

Современные программные комплексы, такие как Agisoft Metashape, RealityCapture и 3DF Zephyr, обеспечивают автоматическую генерацию 3D-моделей на основе фотоснимков. Программно-аппаратные решения позволяют формировать подробные трехмерные модели объектов на основе обычных фотографий, что делает метод доступным и мобильным. При этом он требует определенного соблюдения технических и методических требований на этапе съемки и обработки, что обусловлено чувствительностью процесса к качеству исходных изображений и условиям съемки.

В рамках данного пособия особое внимание уделяется практическому получению трехмерных моделей объемных следов с исполь-

¹ Скрыпичина Т. Н., Уколова А. В. Курс лекций по дисциплинам «Основы архитектурной фотограмметрии» и «Архитектурная фотограмметрия»: учеб. пособие. М.: МИИГАиК, 2020. 127 с.

² Захаров И. П. Обнаружение, фиксация и изъятие латентных следов обуви под слоем снега. 130 с.

зованием программного обеспечения Agisoft Metashape. Эта программа выбрана в силу ее доступности, широкого распространения и высокого качества генерации 3D-моделей на основе фотоснимков. Ниже будет подробно рассмотрен алгоритм работы в Metashape – от фотосъемки до построения цифровой модели и экспорта результатов для анализа.

§ 2.1. Общие сведения о программе Agisoft Metashape и этапы построения трехмерной модели

Agisoft Metashape – это специализированное программное обеспечение для фотограмметрической обработки цифровых изображений и построения высокоточных трехмерных моделей. Программа поддерживает как ручной, так и автоматизированный режимы, позволяя пользователю пошагово управлять всем процессом моделирования: от загрузки изображений до экспорта результатов.

1. Главное меню и панель инструментов (рис. 2.1).

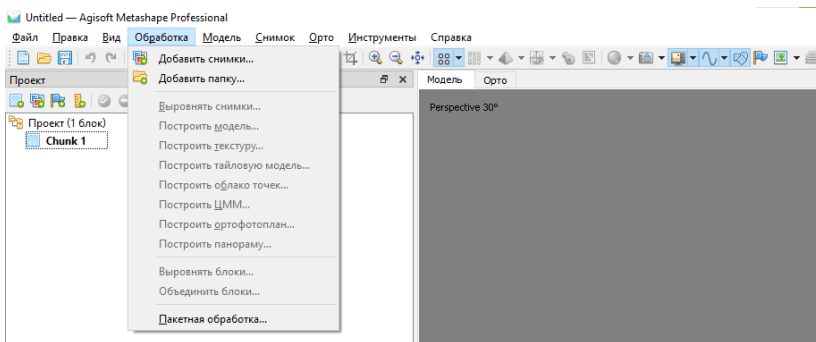


Рис. 2.1. Главное меню и панель инструментов Agisoft Metashape

В верхней части окна расположено главное меню (файл, правка, вид, обработка, модель, снимок и т. д.), а ниже – панель быстрого доступа к основным функциям:

- добавление изображений в проект;
- добавление папки с изображениями в проект;
- выравнивание снимков;
- построение модели;
- построение текстуры;
- построение тайловой модели и т. д.

2. Панель «Проект» находится слева, на ней отображаются все элементы текущего проекта.

Chunks – отдельные фотографии для обработки. Один проект может содержать несколько чанков.

3. Область просмотра (Model View) (рис. 2.2).

Центральная часть интерфейса, где отображается 3D-модель и облака точек. Интерфейс поддерживает навигацию:

- вращение модели (левая кнопка мыши);
- масштабирование (колесико мыши);
- перемещение (правая кнопка мыши).

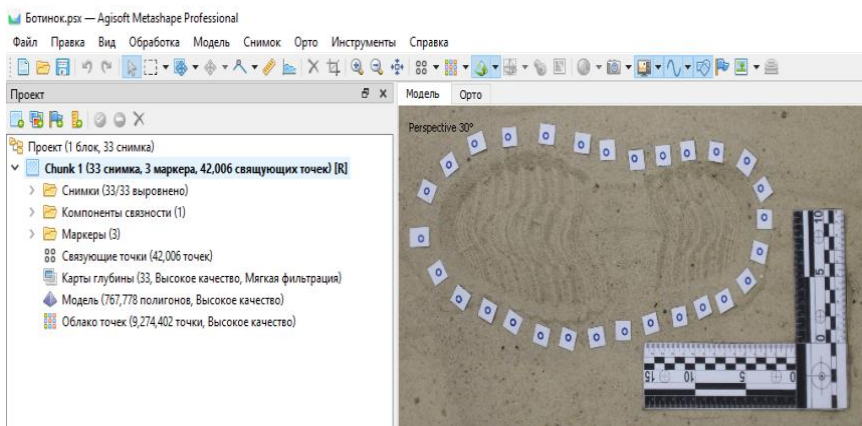


Рис. 2.2. Панель со свойствами элементов текущего проекта и область просмотра модели

В нижней части окна отображаются свойства, ход выполнения операций, сообщения об ошибках и история операций (рис. 2.3). Панель полезна для отслеживания технических деталей процесса получения трехмерной модели.

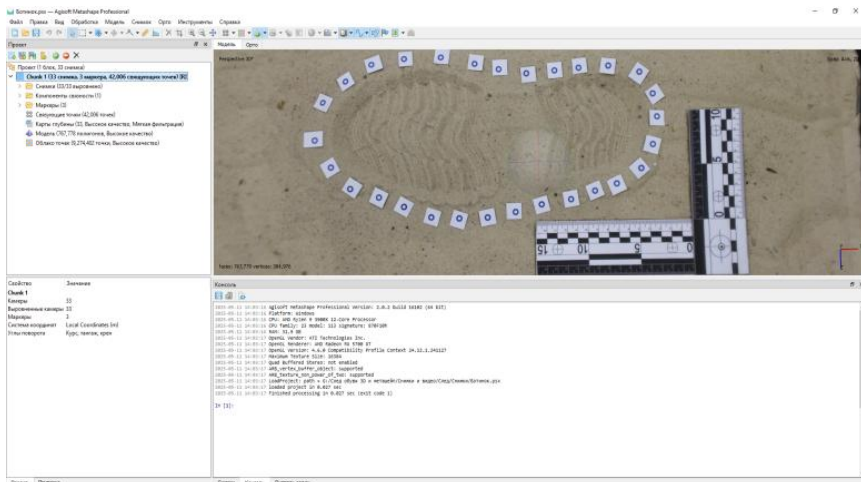


Рис. 2.3. Интерфейс программы Agisoft Metashape с основными элементами управления

Интерфейс Agisoft Metashape интуитивно понятен и позволяет пользователю последовательно выполнять все этапы фотограмметрической обработки.

Алгоритм работы в Metashape включает несколько последовательных этапов. Рассмотрим их на примере построения трехмерного объемного следа обуви на поверхности песка из серии фотографий, сделанных на зеркальный фотоаппарат (рис. 2.4).

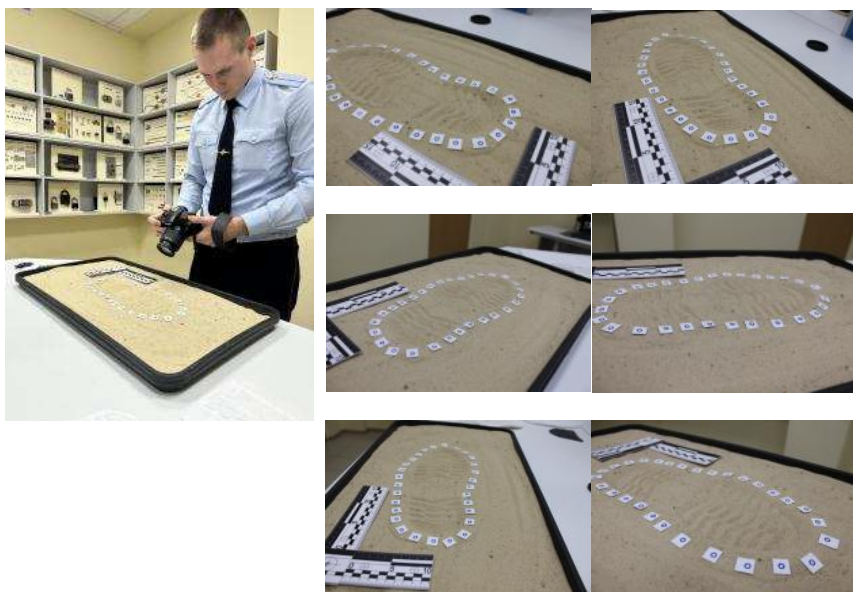


Рис. 2.4. Серия снимков объемного поверхностного следа обуви на поверхности песка, полученная с помощью зеркального фотоаппарата

1. Импорт изображений.

На первом этапе пользователь загружает в проект серию фотографий объекта, снятых с разных ракурсов. Качество и количество снимков напрямую влияет на точность модели. Изображения должны иметь перекрытие не менее 60–80 % между соседними кадрами. Следует избегать смазанных, размытых, пересеченных и однотипных изображений (например, с однотонным фоном). Необходимо соблюдать дистанцию, равномерный шаг и стабильное освещение при съемке.

Порядок действий:

Запустить программу и выбрать File → New (или просто открыть Metashape). Сохранить новый проект (File → Save As) в отдельную папку, где будут храниться и модель, и фотографии. Выбрать в меню «Обработка» и нажать иконку «Добавить фото» на панели инструментов. В открывшемся диалоговом окне выбрать все изображения, от-

носящиеся к одному объекту. Нажать «Открыть», чтобы фотографии появились в рабочей области («Проект») (рис. 2.5).

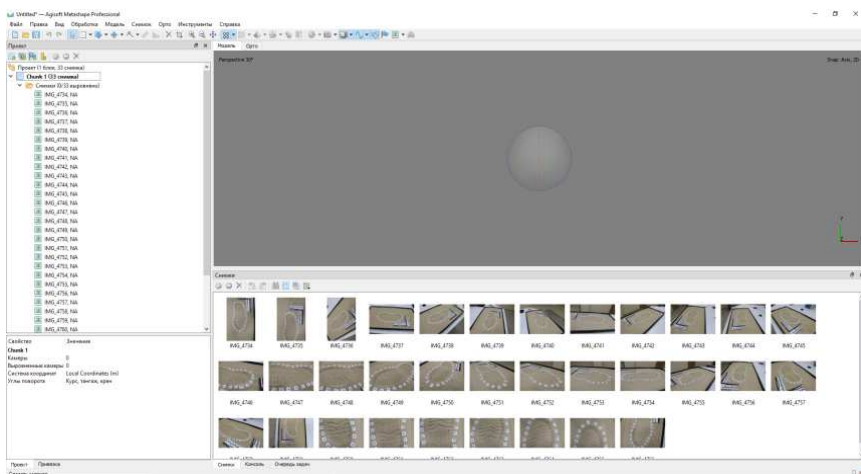


Рис. 2.5. Импорт серии из 33 фотоснимков объемного следа обуви, зафиксированного на поверхности песка

Проверка загруженных файлов:

Убедиться, что все изображения загружены корректно и отображаются в списке. При необходимости можно удалить отдельные фото (клик правой кнопки мыши по изображению → удалить снимки).

2. Выравнивание фотографий.

Программа анализирует перекрывающиеся изображения и вычисляет, с каких точек (позиций камеры) были сделаны фотографии. Это позволяет создать трехмерную схему расположения камер, необходимую для построения объемной модели (рис. 2.6).

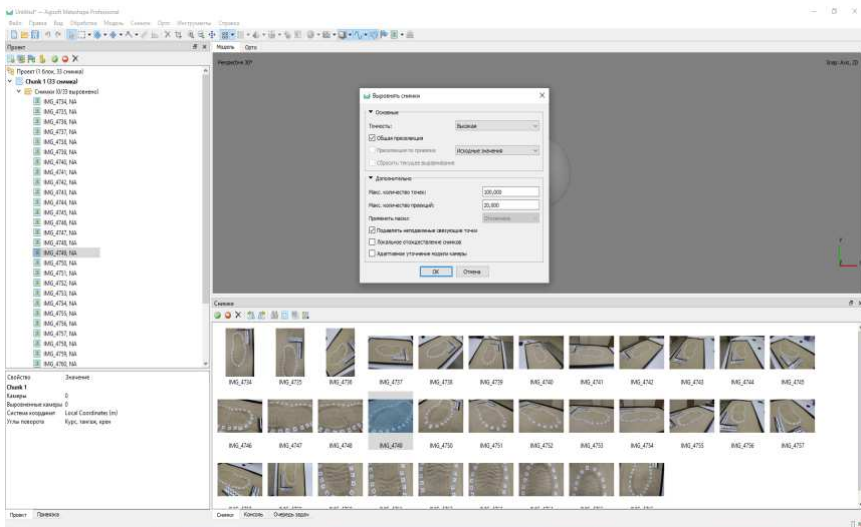


Рис. 2.6. Параметры процесса «Выравнивание» в Agisoft Metashape

Выравнивание является фундаментом для дальнейшего моделирования. Если оно выполнено плохо или изображения не удалось сопоставить, последующие этапы (создание плотного облака, сетки и текстуры) станут невозможны или дадут искаженный результат. Поэтому данную операцию необходимо выполнять на параметрах с высокой точностью.

Metashape находит характерные (уникальные) фрагменты на фотографиях, так называемые ключевые точки. Затем программа сопоставляет их между снимками, определяя, какие области разных фото соответствуют одним и тем же точкам на объекте. Это позволяет «сшить» изображения в единую пространственную структуру.

На основе найденных связей между изображениями создается первичная 3D-структура объекта – разреженное облако точек. Это геометрический каркас, по которому впоследствии строятся плотное облако, сетка и текстура (рис. 2.7).

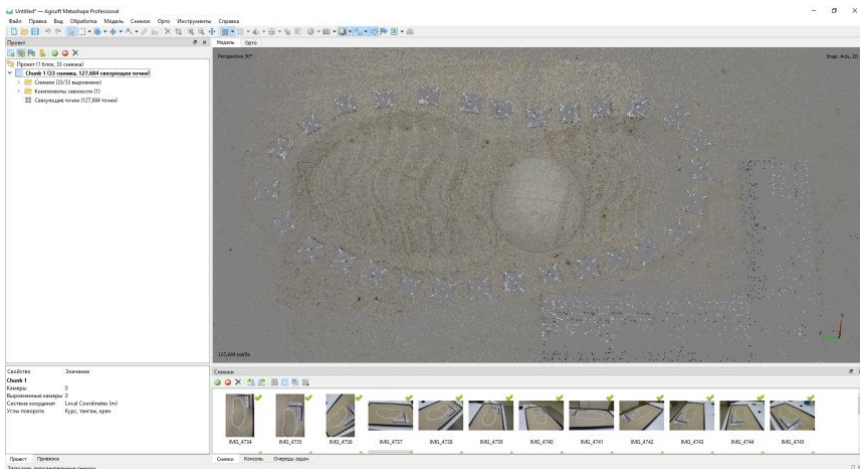


Рис. 2.7. Разреженное облако точек объемного следа обуви после команды «Выравнивание», построенного по 33 фотографиям

3. Создание плотного облака точек.

Плотное облако точек – это объемная совокупность пространственных точек, которые описывают геометрию объекта с высокой степенью детализации. Этот этап выполняется после выравнивания фотографий и построения разреженного облака и служит основой для последующего построения 3D-сетки (модели) объекта.

Перед построением плотного облака желательно удалить невыровненные или ошибочные камеры. При обработке объемных следов (например, следов орудий взлома или обуви) лучше использовать высокое качество и умеренную фильтрацию карт глубины (рис. 2.8). Для высокого и очень высокого качества требуется от 8 до 32 ГБ RAM.

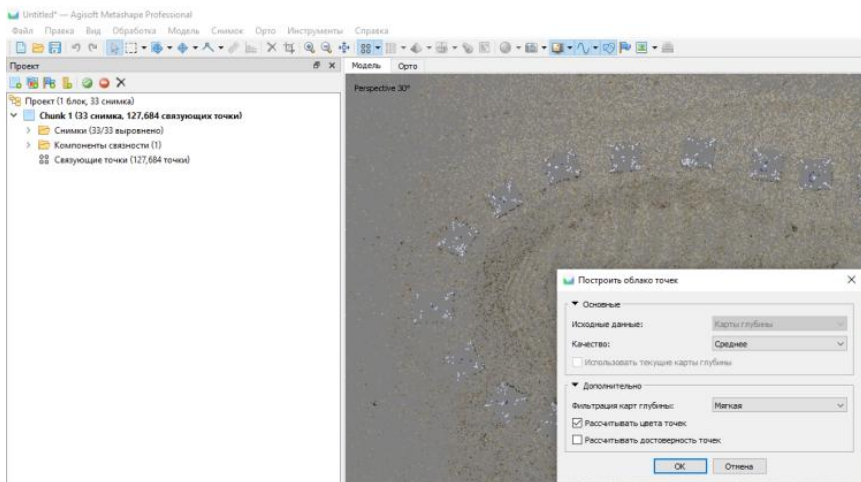


Рис. 2.8. Параметры процесса «Создание плотного облака точек»

После подтверждения настроек нажать «ОК». Программа начнет поочередно обрабатывать все пары изображений и строить модель глубины.

На основе выровненных изображений Metashape строит плотное облако точек, отображающее геометрию объекта. Результат: в рабочем пространстве появится слой «Плотное облако точек». Объект станет значительно детализированнее (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Плотное облако точек, построенное в Agisoft Metashape после выравнивания изображений

Agisoft Metashape использует алгоритмы стереозрения (stereo matching), сопоставляя пары изображений с учетом выравнивания камер. По каждой паре фотографий рассчитывается глубина (расстояние до объектов), на основе чего формируется пространственная структура.

4. Построение модели.

После построения плотного облака точек следующим шагом является создание трехмерной сетки (mesh) – поверхности, которая описывает форму объекта (рис. 2.10).

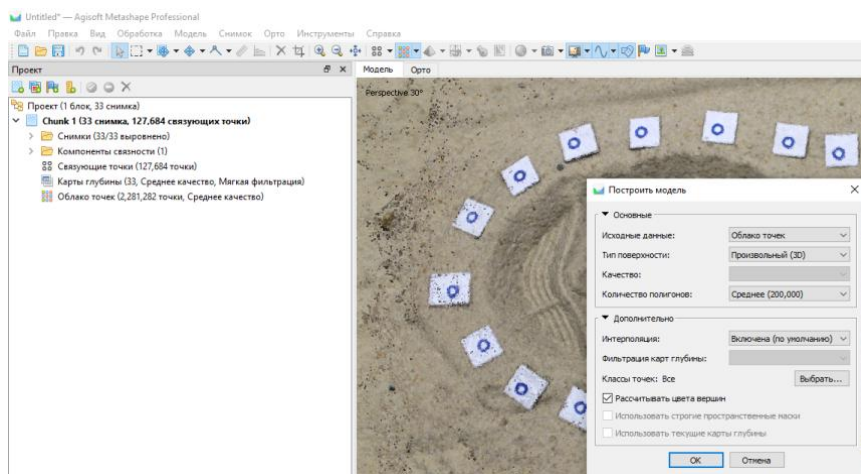
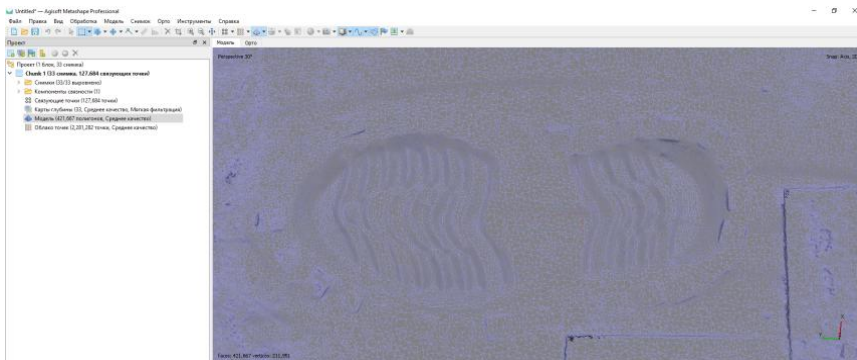


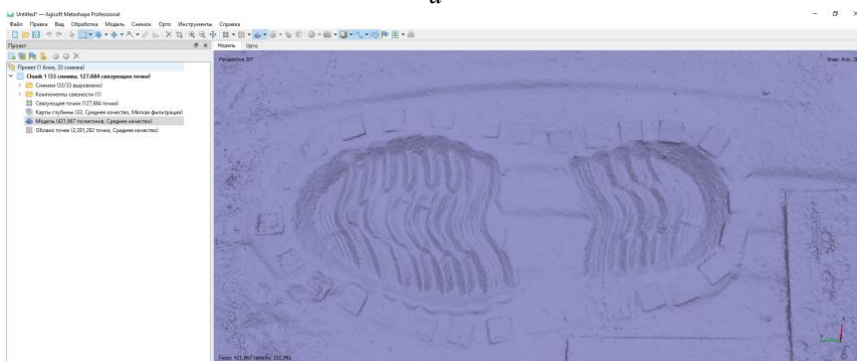
Рис. 2.10. Параметры процесса «Построение модели»

Программа анализирует распределение точек в пространстве и по ним строит многоугольную поверхность. Этот процесс называется триангуляцией и является основой большинства 3D-моделей. Эта поверхность состоит из множества связанных между собой треугольников и служит основой финальной 3D-модели (рис. 2.11а).

Полученная в результате построения 3D-сетка представляет собой поверхностную модель, сформированную методом триангуляции. Данная модель воспринимается как сплошная поверхность, пригодная для последующего наложения текстуры и измерений (рис. 2.11б).



a



б

Рис. 2.11. а – трехмерная каркасная сетка объекта;
б – модель, построенная на основе плотного облака точек

Назначение этапа: преобразование облака точек в непрерывную геометрическую поверхность, подготовка модели к текстурированию и получение пригодной для анализа и экспорта 3D-геометрии.

5. Построение текстуры.

После создания трехмерной геометрической модели следующим шагом является наложение текстуры, т. е. формирование цветового покрытия, отображающего внешний вид объекта, зафиксированный на фотографиях. Это делает модель визуально реалистичной и позволяет анализировать как геометрию, так и внешние особенности объекта (повреждения, маркировка и т. д.).

Порядок действий:

В главном меню выбрать «Обработка» → «Построить текстуру». Откроется диалоговое окно параметров текстурирования (рис. 2.12).

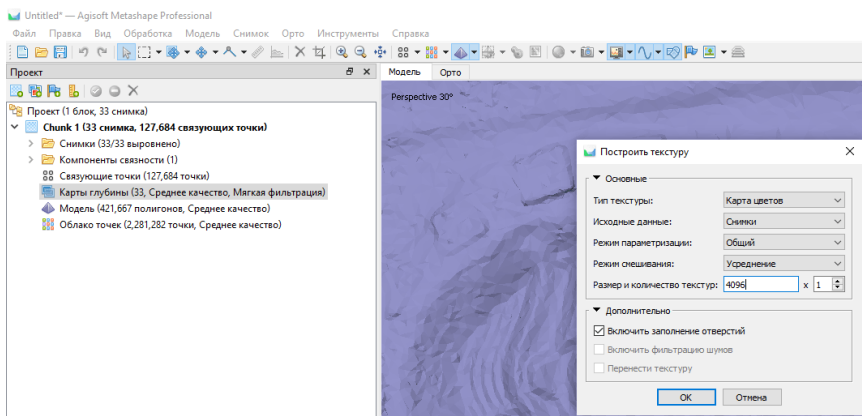


Рис. 2.12. Параметры процесса «Построение текстуры»

Texture size / count (Размер текстуры / количество): 4096 × 4096 пикселей (4096 × 1) – стандартный выбор. При необходимости де-тализации можно использовать 8192 × 2 или больше, но вместе с этим увеличивается объем файла.

Нажать «ОК», после чего программа выполнит UV-развертку и наложение изображения. Процесс занимает от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от настроек и размера модели.

Metashape проецирует фрагменты исходных изображений на построенную 3D-сетку, формируя текстурную карту – 2D-изображение, которое разворачивается по поверхности модели в соответствии с ее формой (UV-развертка). В результате получается цветная модель, максимально приближенная к реальному объекту (рис. 2.13).

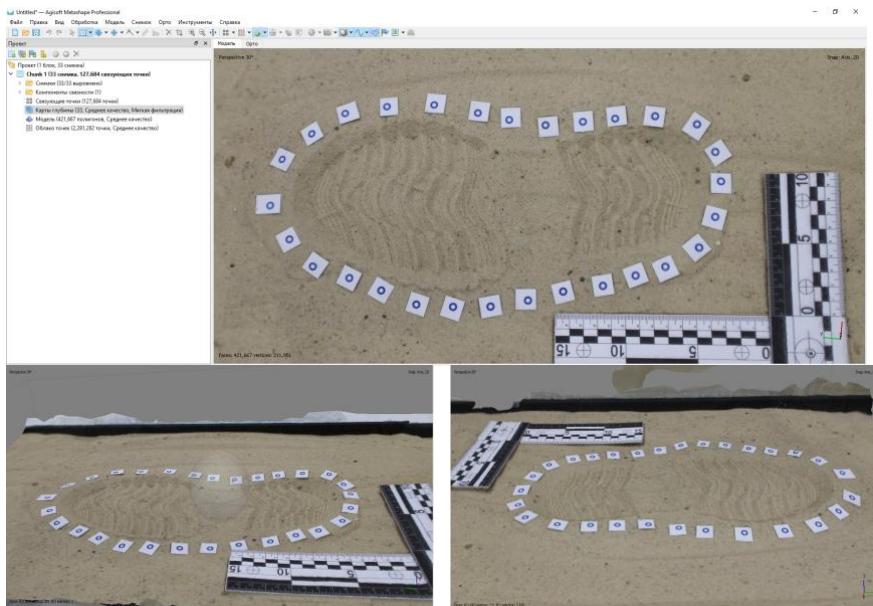


Рис. 2.13. 3D-модель объемного следа обуви с наложенной текстурой, построенная по 33 фотоснимкам в программе Agisoft Metashape

Для криминалистических целей (например, фиксации повреждений, следов обуви и атотранспортных средств) важно использовать максимально возможное качество изображения. Если на этапе съемки использовались изображения с разным освещением, может потребоваться корректировка яркости или предварительная калибровка в стороннем программном обеспечении.

6. Масштабирование и контроль точности.

Для трасологии важно обеспечить метрическую точность модели. Масштабирование может производиться с использованием масштабных линеек, контрольных точек или по известным размерам объекта.

7. Экспорт результатов.

После завершения всех этапов построения – от выравнивания снимков до наложения текстуры – готовую 3D-модель можно экспортировать в сторонние программы для анализа, визуализации или хранения в архиве. Экспорт также необходим для передачи данных экспертам, следователям, в судебные учреждения, либо в специали-

зорованное программное обеспечение (например, для сравнения следов, реконструкции, визуализации на суде и т. д.).

Цели экспорта: перенос модели в другие программы (MeshLab, Blender, CloudCompare, AutoCAD и др.), создание отчетных файлов, архивирование 3D-доказательств, подготовка моделей для 3D-печати.

В меню выбрать File → Export → Export Model. Форматы:

- .OBJ – универсальный формат, поддерживает геометрию и текстуру (рекомендуется);

- .PLY – содержит только сетку и цвет точек, хорошо читается в MeshLab;

- .STL – используется для 3D-печати (без цвета);

- .FBX – применяется для анимации и игровых движков;

- .3DS, .DXF и др. – в зависимости от цели.

Нужно убедиться, что опция Export Texture активна, если требуется текстура. При необходимости можно указать путь к отдельному файлу .jpg или .png с текстурной картой.

§ 2.2. Типичные ошибки при создании 3D-моделей в Agisoft Metashape

Работа с фотограмметрией требует соблюдения определенных условий на всех этапах – от фотосъемки до экспорта. Нарушения методики приводят к снижению точности, искажению формы, потере деталей и невозможности корректной реконструкции объекта. Ниже приведены наиболее частые ошибки и способы их предотвращения.

Недостаточное перекрытие снимков:

- ✦ Симптом: камеры не выравниваются, разреженное облако получается фрагментарным.

- ✓ Решение: обеспечить не менее 60–80 % перекрытия между кадрами, снимать по кругу и под разными углами.

Съемка с некачественным освещением:

- ✦ Симптом: текстура выходит неравномерной, появляются резкие тени, блики.

- ✓ Решение: использовать рассеянный свет или осветить объект равномерно с нескольких сторон.

Съемка с автофокусом и нестабильным зумом:

✦ Симптом: неравномерная резкость, артефакты на сетке.

✓ Решение: отключить автофокус, установить постоянное фокусное расстояние.

Ошибки при обработке:

Использование размытых или лишних фото:

✦ Симптом: выравнивание дает ошибки, в облаке появляются шумы.

✓ Решение: до начала обработки отобрать только резкие, информативные кадры, удалить дубликаты и лишние углы обзора.

Игнорирование масок при съемке на фоне:

✦ Симптом: реконструируется не только объект, но и фон.

✓ Решение: использовать маски или однотонный фон либо вырезать область интереса в настройках.

Неверный выбор параметров выравнивания и плотного облака:

✦ Симптом: деформированная геометрия, искаженные грани, провалы в сетке.

✓ Решение: выбирать режимы High и Moderate / Mild filtering, избегать отключения фильтрации при слабом персональном компьютере.

Наложение текстуры при неполной геометрии:

✦ Симптом: «смазанная» или растянутая текстура, несоответствие цвета и формы.

✓ Решение: перед текстурированием убедиться, что модель завершена, не содержит пробелов.

Экспорт без текстуры или в неподходящем формате:

✦ Симптом: модель не отображается корректно в других программах.

✓ Решение: при экспорте выбрать .OBJ с текстурой, проверить наличие файлов .jpg или .mtl.

Неправильный масштаб:

✦ Симптом: в сторонних программах модель оказывается слишком крупной или крошечной.

✓ Решение: использовать масштаб 1:1, проверить единицы измерения (мм, м) при экспорте.

Знание и понимание типичных ошибок позволяет избежать потери данных и обеспечивает высокое качество 3D-модели. В условиях криминалистической практики это особенно важно, так как от точности зависит достоверность заключения

Контрольные вопросы по теме

«Фиксация объемных следов с помощью фотограмметрии»

1. Что такое фотограмметрия и в чем заключается ее суть?
2. Какие основные этапы включает процесс построения 3D-модели в программе Agisoft Metashape?
3. Зачем необходимо выравнивание снимков и какие параметры при этом настраиваются?
4. Чем отличается разреженное облако точек от плотного?
5. В чем заключается принцип построения 3D-сетки (mesh)?
6. Что такое UV-развертка и какую роль она играет при наложении текстур?
7. Какие форматы экспорта моделей поддерживаются в Metashape и в каких целях они используются?
8. Назовите три наиболее распространенные ошибки, допускаемые при съемке для фотограмметрии.
9. Какое значение имеет перекрытие снимков для итогового качества модели?
10. Какие меры следует предпринять для создания модели, пригодной для последующей 3D-печати?

ГЛАВА 3. ФИКСАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛЕДОВ С ПОМОЩЬЮ 3D-СКАНЕРА CALIBRY MINI

На сегодняшний день технологии 3D-сканирования получили достаточно широкое распространение во многих отраслях. Их использование является одним из наиболее перспективных направлений совершенствования процесса работы отечественных предприятий, а также способов достижения научных целей.

В последнее время все больше ученых криминалистов склоняются к развитию криминалистической техники в сторону 3D-сканирования. Например, М. В. Беляев отметил, что применение 3D-технологий в криминалистике способно привести к повышению эффективности экспертиз и показателей трасологических учетов по следам обуви, транспортных средств и орудий взлома¹. И. О. Несмиянова указывает на возможность исследования 3D-моделей объемных следов обуви, транспортных средств и орудий взлома в рамках производства трасологических экспертиз². А. С. Шутова обращает внимание на плюсы получения сложнопрофильных (полигональных) объемных моделей трасологических следов, полученных при помощи 3D-сканирования по отношению к традиционным методам фиксации и изъятия таких следов (гипсовая модель, слепки)³.

Анализ криминалистической литературы показал, что ранее коллективом авторов ЭКЦ МВД России⁴ проводились исследования в области 3D-технологий. Авторами была разработана криминалистическая классификация 3D-сканеров, описаны их возможности. Экспериментальным путем было установлено, что для криминали-

¹ Беляев М. В. Возможности портативных триангуляционных 3D сканеров в трасологических исследованиях // Вестник экономической безопасности. 2022. № 3. С. 41–45.

² Несмиянова И. О. Использование современных информационных технологий в производстве трасологических экспертиз и исследований // Вестник экономической безопасности. 2022. № 3. С. 169–172.

³ Шутова А. С. Об интеграции 3d-технологий в процесс производства транспортно-трасологических исследований // Журнал «Безопасность дорожного движения». 2024. № 3. С. 36–40.

⁴ Использование цифровых технологий в технико-криминалистическом обеспечении осмотров мест происшествий: практические рекомендации / П. В. Севастьянов, В. И. Попов, С. В. Томчик [и др.]. М.: ЭКЦ МВД России, 2022. 177 с.

стических исследований был оптимален метод бесконтактного сканирования с использованием 3D-сканера Calibry Mini¹.

§ 3.1. Общие сведения о сканере и способах фиксации объемных следов

3D-сканер Calibry Mini – это портативное (ручное) сканирующее устройство, действующее бесконтактным методом по технологии триангуляции и структурированного света (рис. 3.1, табл. 3.1).

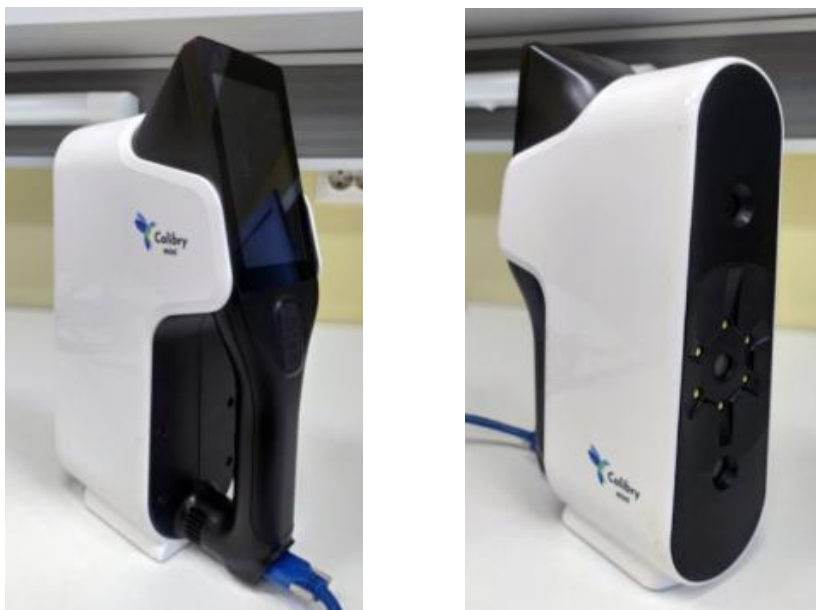


Рис. 3.1. 3D-сканер Calibry Mini

¹ Севастьянов П. В. Использование технологий 3D-моделирования при производстве судебных экспертиз: методическое пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 2022. 118 с.; Использование цифровых технологий в технико-криминалистическом обеспечении осмотров мест происшествий ... 177 с.

Технические характеристики 3D-сканера Calibry Mini

Точность	до 0,07 мм
Разрешение	до 0,15 мм
Рабочее расстояние сканирования, мм	180–300 мм
Источник света	LED, синий свет
Скорость сбора данных	3 млн точек/с
Вес	0,9 кг
Размеры	85 × 165 × 273 мм
Сенсорный экран	4 дюйма
Программное обеспечение	Calibry Nest
Допустимая температура воздуха для эксплуатации сканера	от + 5 до + 40 °С
Формат данных сканирования	.stl

3D-сканер Calibry Mini подключается к стационарному персональному компьютеру или ноутбуку при помощи специальных проводов с разъемом USB 3.0 и питании сети 220 вольт. Для работы с 3D-моделями следов и объектов рабочее место эксперта должно соответствовать следующим требованиям: персональный компьютер или ноутбук с четырехядерным процессором от 3 GHz (восьмипоточный, с объемом оперативной памяти не менее 32 ГБ), видеокарта последнего поколения не менее 4–8 ГБ, дополнительный операционный носитель SSD-накопитель на 512 ГБ или 1 ТБ с малым временем отклика, свободное место на диске не менее 50 ГБ.

Принцип работы сканера: поступательными движениями руки 3D-сканер Calibry Mini перемещается вокруг сканируемого объекта на удалении от 180 до 300 мм. В результате получается сложнопрофильная (полигональная) модель, с которой возможно работать в любой системе автоматизированного программирования.

Работа с 3D-сканером и последующая обработка полученных трехмерных моделей следов требует навыков по использованию специальной приборной базы, программного обеспечения Calibry

Nest. Трехмерные модели следов сохраняются в цифровых форматах .STL, .OBJ, .PLY, .WRL¹.

Для осуществления сканирования запускается программа Calibry Nest. Во время первого запуска сканера его следует откалибровать. Для этого в комплекте имеется калибровочный стенд, который устанавливается на ровную поверхность. Калибровка сканера осуществляется по инструкции, которая высвечивается на экране сканера (рис. 3.2).

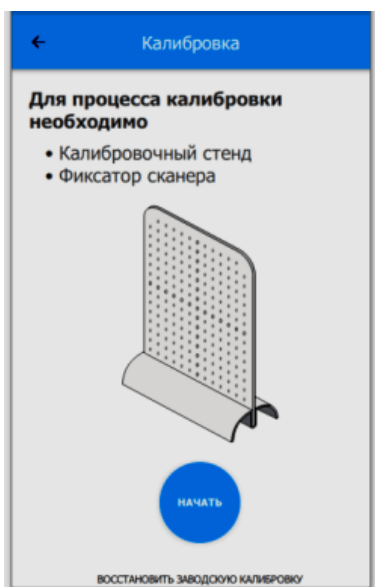


Рис. 3.2. Начальный экран калибровки 3D-сканера

Калибровка состоит из семи последовательных этапов, по завершению которых сканер готов к эксплуатации и выполнению своих функций. Если калибровка была выполнена на каком-то этапе некорректно, сканер потребует пройти процедуру заново (рис. 3.3).

¹ Севастьянов П. В. Использование технологий 3D-моделирования при производстве судебных экспертиз. 118 с.

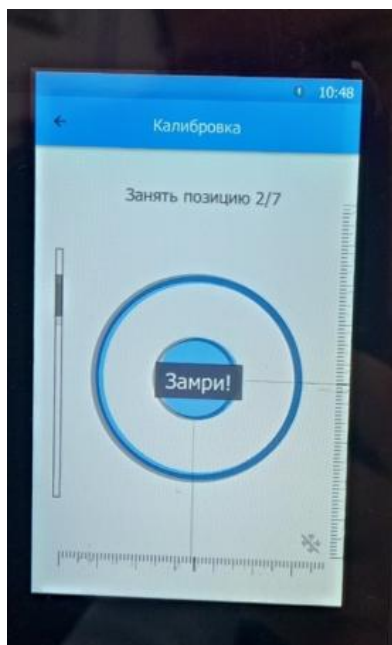
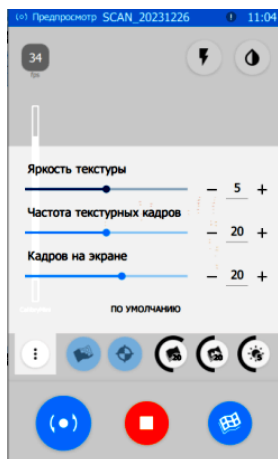


Рис. 3.3. Поэтапная калибровка 3D-сканера

Для первого запуска сканера и его калибровки необходимо подключение к Интернету. Если 3D-сканер Calibry Mini подключить к новому персональному компьютеру, то при запуске он снова потребует подключение к Интернету и прохождения всех этапов калибровки.

После того как процесс калибровки закончен, можно приступить к 3D-сканированию объектов или следов. Для этого на экране 3D-сканера или его корпусе нажимается кнопка «СТАРТ». В зависимости от сканируемого объекта или следа подбираются соответствующие настройки (рис. 3.4):

- яркость подсветки;
- частота получения текстурных кадров;
- уровень детализации;
- режим сканирования;
- цвет объекта.



Выбор яркости текстуры, частоты текстурных кадров



Включение или выключение вспышки



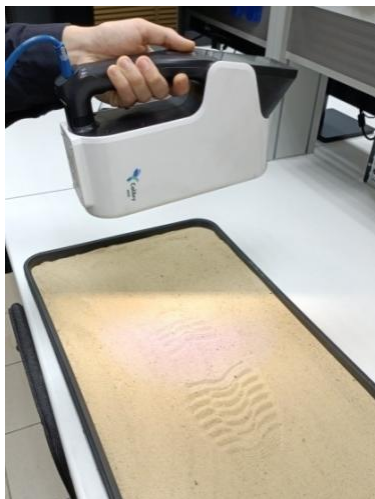
Выбор трекинга: по текстуре, маркерам или геометрии

Рис. 3.4. Диалоговые окна параметров настройки 3D-сканера

Для работы по фиксации объемных трасологических следов (следы шин, обуви, орудий взлома, зубов) экспериментальным путем подобраны следующие оптимальные настройки:

- яркость текстуры – 5;
- частота текстурных кадров – 20;
- кадров на экране – 20;
- выбор трекинга – по текстуре.

После выбора необходимых настроек начинается главный этап работы – этап сканирования. Для этого необходимо нажать кнопку «СТАРТ» повторно. Важно проводить сканирование, контролируя правильное размещение сканера относительно сканируемого объекта (рис. 3.5–3.6). Движения должны быть плавными и аккуратными. Процесс сканирования контролируется на экране сканера, на котором виден сам сканируемый объект, а также количество кадров, которые уже были сделаны (для качественного сканирования, например, следа подошвы обуви, необходимо получить 1 000–1 500 кадров). Сканер удерживается в зоне зеленого спектра (оптимально) с избеганием зоны красного (близко) и синего (далеко) спектров.



а



б

Рис. 3.5. Расположение сканера относительно следа: а – перпендикулярно; б – под углом 45–60 градусов относительно следа



Рис. 3.6. Изображение следа подошвы обуви на экране при оптимальном расположении сканера относительно поверхности

После завершения сканирования на экране или корпусе 3D-сканера нажимается кнопка «СТОП» два раза. Полученный результат автоматически сохраняется в меню программы Calibry Nest, далее начинается процесс получения полигональной модели. Для достижения данной цели:

1. В меню программы выбрать требуемый сканированный файл (он находится в верхней части списка) и нажать «Открыть». Файл снабжен такими метаданными, как название, размер, дата и время его создания. После открытия файла на экране наблюдается разрозненное облако точек (рис. 3.7).

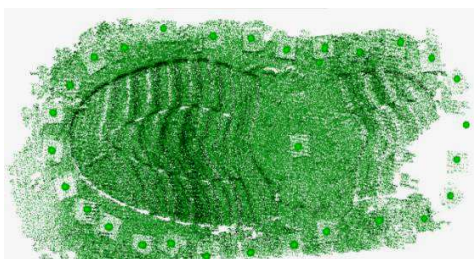


Рис. 3.7. Открытие файла с данными сканирования в программе Calibry Nest и просмотр облака точек трехмерной модели следа, полученной в результате сканирования

2. Для получения полигональной модели облако точек необходимо предварительно обработать: очистить, убрать шумы и данные, не имеющие отношения к сканированному объекту. Для этого запускается команда «Регистрация». После ее завершения активируется команда «Финализация», т. е. облако точек преобразуется в полигональную модель (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Диалоговое окно запуска команд «Регистрация» и «Финализация»

При запуске «Регистрации» и «Финализации» необходимо задать настройки алгоритмов (рис. 3.9):

- разрешение;
- заполнение отверстий;
- резкость;
- вырезание маркеров;
- фильтрация по размеру;
- перестройка сетки;
- упрощение;
- наложение текстуры (при необходимости).

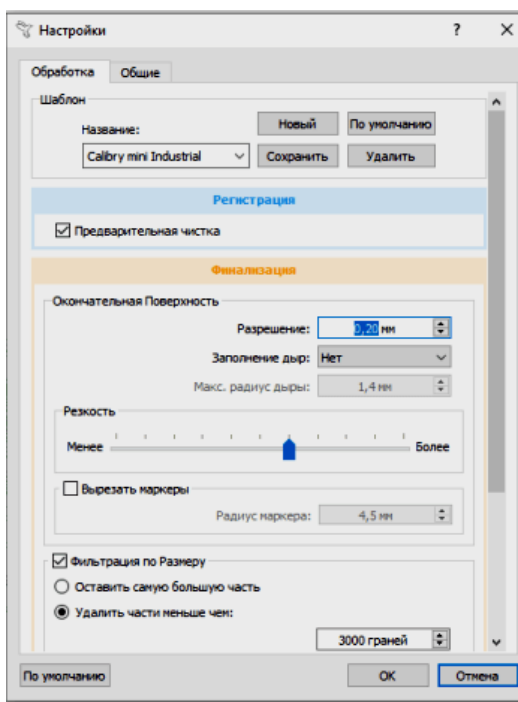


Рис. 3.9. Окно настроек обработки полученного облака точек до готовой 3D-модели

Оптимальные настройки обработки для получения полигональной модели фиксируемых следов определены следующие (получены экспериментально):

- разрешение – 0,20 мм;
- заполнение дыр – нет;
- резкость – между 6 и 7 на шкале;
- фильтрация по размеру – удалять части меньше чем 3 000 граней (грань – размерная характеристика в 3D-модели).

Необходимо учитывать, что выбор настроек для обработки отсканированного следа определялся в каждом случае индивидуально, в зависимости от текстуры, материала, цвета, поверхности и т. д.

В отдельных случаях для построения 3D-модели нужно проводить несколько сессий сканирования. В результате 3D-модель объекта приходилось собирать из нескольких частей. Для этого открывалось несколько требуемых файлов, выбиралась команда «Выравнивание по точкам», т. е. упорядочивание и расположение точек двух отсканированных моделей в одной плоскости и приведение их в одинаковое пространственное положение (рис. 3.10).

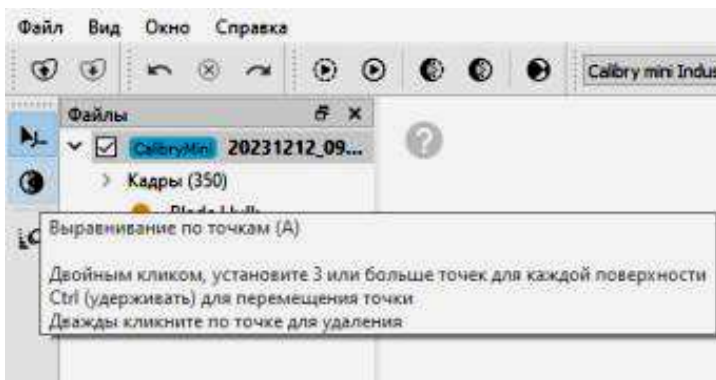


Рис. 3.10. Диалоговое окно запуска команды «Выравнивание по точкам»

На изображениях отмечаются одноименные участки, после чего выбирается команда «Принять изменения». Одноименных точек должно быть не меньше трех, иначе программа не сможет соединить модели. Чем больше одноименных точек выбрано, тем точнее происходит соединение выбранных полигональных моделей (рис. 3.11).

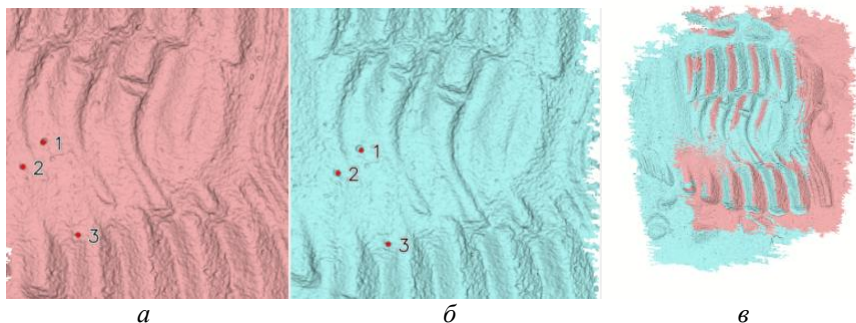


Рис. 3.11. Выбор трех одноименных точек (1, 2, 3) на двух полигональных моделях следа обуви (а, б) и результат их наложения (в)

После выравнивания по одноименным точкам двух и более объектов (в зависимости от их количества) они проходят точно такую же процедуру, что и в самом начале 3D-обработки, т. е. процессы «Регистрация» и «Финализация», но уже сообща. Для этого в программном обеспечении есть функция «Множественная регистрация» и «Множественная финализация».

После завершения всех команд 3D-обработки в программном обеспечении Calibry Nest можно наблюдать полигональную модель следа (рис. 3.12).

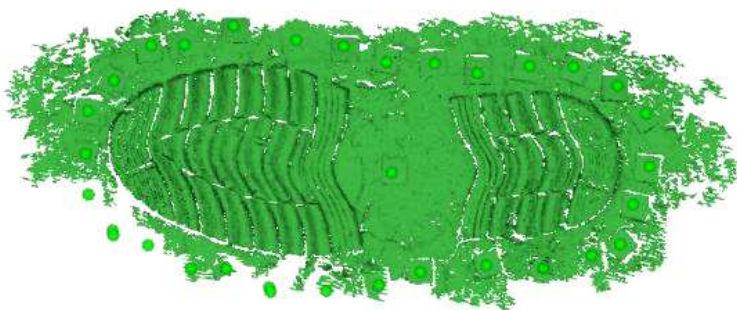


Рис. 3.12. Полигональная 3D-модель следа обуви после процессов «Регистрация» и «Финализация»

3. Лишние детали на полигональной модели следует удалять путем команды «Выделение» (рис. 3.13). Необходимо быть предельно аккуратными, так как можно случайно удалить элементы модели, в которых зафиксированы индивидуализирующие признаки следообразующего объекта.

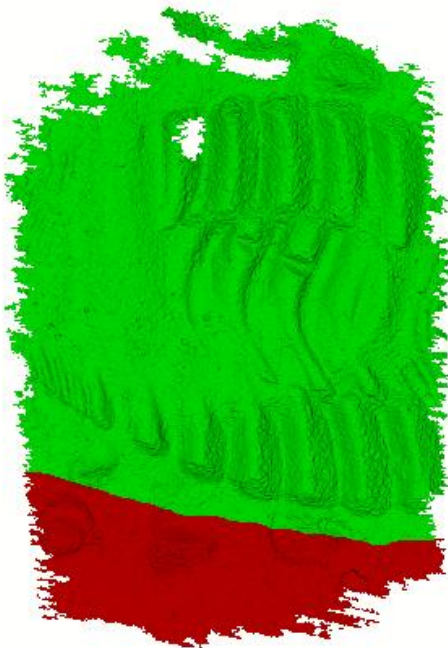


Рис. 3.13. Процесс выделения лишних элементов 3D-модели следа

4. В связи с тем, что 3D-сканер Calibry Mini производит сканирование по технологии триангуляции и структурированного света, во время 3D-сканирования свет не может проникнуть во все места сканируемого объекта, например, шины транспортного средства. В связи с этим в моделях получаются «дыры» – пробельные пропуски, куда не попал структурированный свет (такие «дыры» неизбежны при любом виде 3D-сканирования). В связи с этим данные пропуски необходимо закрыть. Для этого в ПО Calibry Nest имеется функция «Закрытие дыр» (рис. 3.14). После того как все необходимые дыры будут закрыты, 3D-модель считается готовой.

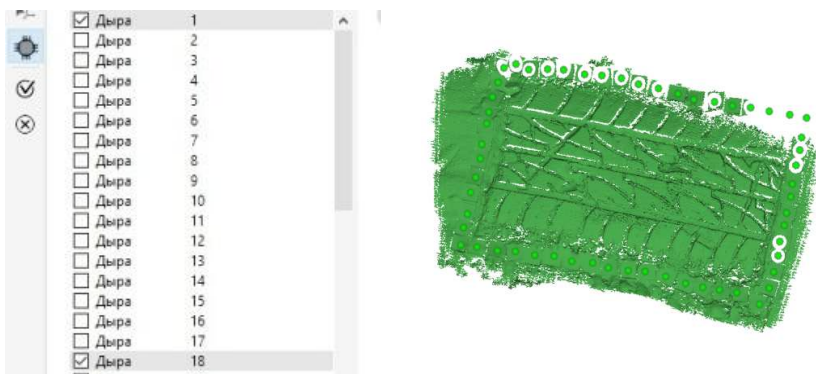


Рис. 3.14. Этап закрытия дыр после «Регистрации» и «Финализации» трехмерной модели

Хорошо отсканированным считается след с наименьшим количеством пробельных пропусков. Если их количество слишком большое, а размер их больше 0,5 см, то такой след необходимо пересканировать, так как имеется возможность утраты индивидуализирующих признаков слеодообразующего объекта при выполнении команды «Закрытие дыр».

В данной программе помимо команд для обработки результата сканирования имеются вспомогательные функции, например, «Измерительная линейка» позволяет измерить расстояние в миллиметрах между двумя выбранными точками на кадрах либо на модели.

После выполнения всех необходимых задач, связанных с обработкой полученной полигональной модели, получается готовая 3D-модель следа (рис. 3.15), которая в последующем сохраняется в формате .stl.

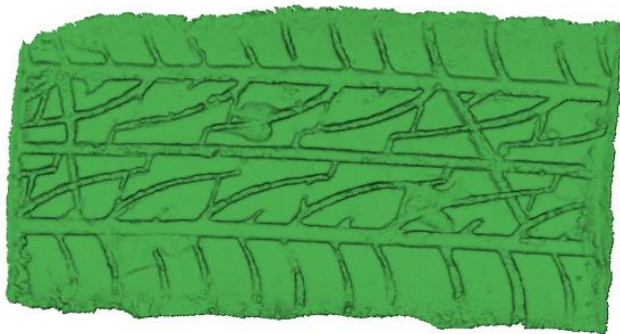


Рис. 3.15. Полигональная 3D-модель следа транспортного средства

Во время апробации 3D-сканера Calibry Mini были получены различные виды полигональных моделей объемных трасологических следов (следы подошвы обуви, следы протекторов шин транспортных средств, следы орудий взлома, следы зубов) на различных следовоспринимающих поверхностях (рис. 3.16).

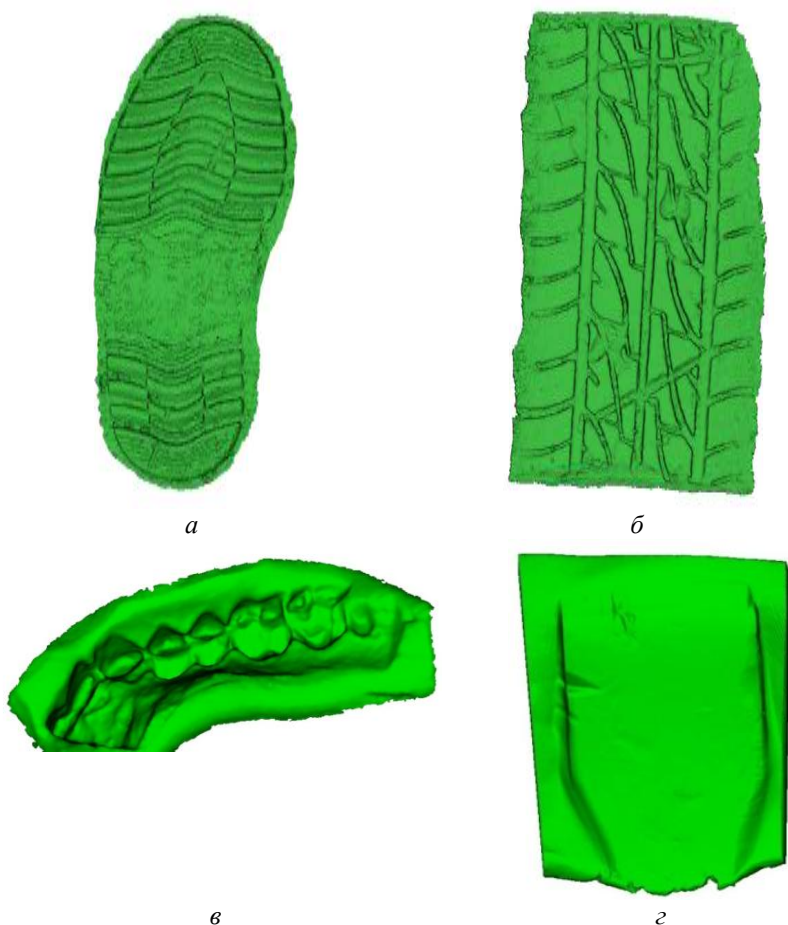


Рис. 3.16. а – трехмерная полигональная модель следов обуви;
 б – трехмерная полигональная модель следов транспортного средства;
 в – трехмерная полигональная модель следов зубов человека;
 г – трехмерная полигональная модель следа орудия взлома

Портативные 3D-сканеры, такие как Calibry Mini, предназначены для работы в лабораторных условиях при искусственном освещении, комнатной температуре и относительной влажности 30–60 %. Из этого следует, что применение данных устройств не рекомендовано, а в некоторых случаях и невозможно в полевых условиях.

При использовании 3D-сканера на открытой местности ученые различных отраслей столкнулись с определенными проблемами. Я. А. Низов, М. А. Фаустов, Р. С. Малай при работе в условиях естественного освещения установили, что 3D-сканер испускает структурированные пучки света и при наличии других источников яркого освещения, например, солнечного, не может распознать поверхность объекта съемки¹. Полицейские Австралии тоже выявили невозможность применения портативных сканеров на улице при ярком солнечном свете или во время дождя².

Рядом экспериментов было установлено, что получение сложно-профильной (полигональной) объемной модели невозможно не только при ярком солнечном свете, но и в тени и в пасмурную погоду.

Для решения возникшей сложности Я. А. Низов, М. А. Фаустов, Р. С. Малай создали лабораторию по 3D-сканированию на площадке, где было настроено подходящее освещение. При работе криминалиста на осмотре места происшествия такое решение не подходит, однако данный опыт послужил для создания определенного затемняющего заграждения, при котором 3D-сканирование было бы возможно.

На первом этапе создания такого заграждения была выявлена возможность 3D-сканирования при сильном затемнении. Для этого использовалась картонная коробка высотой 70 см шириной 60 см. Сканированию подверглись следы подошвы обуви и следы протектора шины автотранспортного средства (по пять каждого), образо-

¹ Низов Я. А., Фаустов М. А., Малай Р. С. Методика неразрушающей разборки, сохранения и музеефикации археологических объектов // Бюллетень Института истории материальной культуры Российской академии наук (охранная археология): сб. ст. СПб.: Институт истории материальной культуры РАН, 2024. С. 324–332.

² Австралийская полиция восстанавливает картину места преступления с помощью 3D-сканера за считанные минуты // 3Dtoday: сайт. URL: <https://3dtoday.ru/industry/australian-policerestores-the-picture-of-the-scene-of-the-crimewith-the-help-of-3d-scanner-in-minu.html/> (дата обращения: 01.06.2026).

ванные на песчаной поверхности. Заграждение ставилось таким образом, чтобы следы были внутри него в средней части. Сканирование производилось в режиме «Текстурный трекинг» и «Трекинг по маркерам». В результате получились объемные полигональные модели следов.

Сложностью сканирования является чрезмерная легкость картонной коробки. При небольших порывах ветра упаковка сдвигалась и тем самым портила следы, иногда переворачивалась. После анализа возможности такого применения портативного 3D-сканера и возникающих сложностей было принято решение создать подобное заграждение из более прочных и тяжелых материалов. Данное заграждение называется «Затемняющий столик для 3D-сканирования».

В ходе проектирования установки ее размерные и геометрические характеристики, материал, возможность удобной сборки и транспортировки подбирались экспериментальным путем. В результате получена опытно-экспериментальная модель. Каркас – модульная система труб «Джокер» с размерными характеристиками: высота – 50 см, ширина – 50 см, длина – 75 см (рис. 3.17).

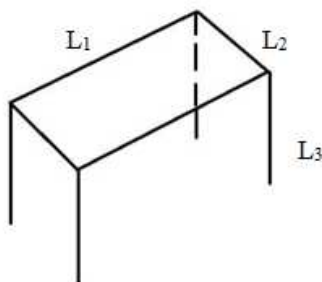


Рис. 3.17. Каркас затемняющего столика для 3D-сканирования:

L_1 – длина (75 см), L_2 – ширина (50 см), L_3 – высота (50 см)

На каркас надевается чехол, изготовленный из геотекстиля, плотностью 100 г/м^2 , с отверстием в верхней части для возможности сканирования (рис. 3.18). Имеется застежка типа «молния» для закрытия отверстия, служащая для недопущения порчи следов в связи с различными погодными условиями.



Рис. 3.18. Каркас с чехлом затемняющего столика для 3D-сканирования

В связи с тем, что для работы 3D-сканера необходимо напряжение 220 В и наличие персонального компьютера или ноутбука с программным обеспечением, автотранспорт, на котором передвигаются сотрудники следственно-оперативной группы, должен быть укомплектован авто-инвертором для преобразования постоянного напряжения 12 В в переменное 220 В с техническими характеристиками не ниже:

- постоянная мощность – 1 500 Вт;
- пиковая мощность – 3 000 Вт;
- максимальное входное напряжение – 15,5 В;
- выходное напряжение – 220 В;
- частота выходного напряжения – 50 Гц (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Комплект оборудования, необходимый для 3D-фиксации объемных следов на осмотре места происшествия

Благодаря затемняющему столику появилась возможность 3D-сканирования объемных следов подошвы обуви, протекторов шин транспортных средств в полевых условиях (рис. 3.20).



а



б

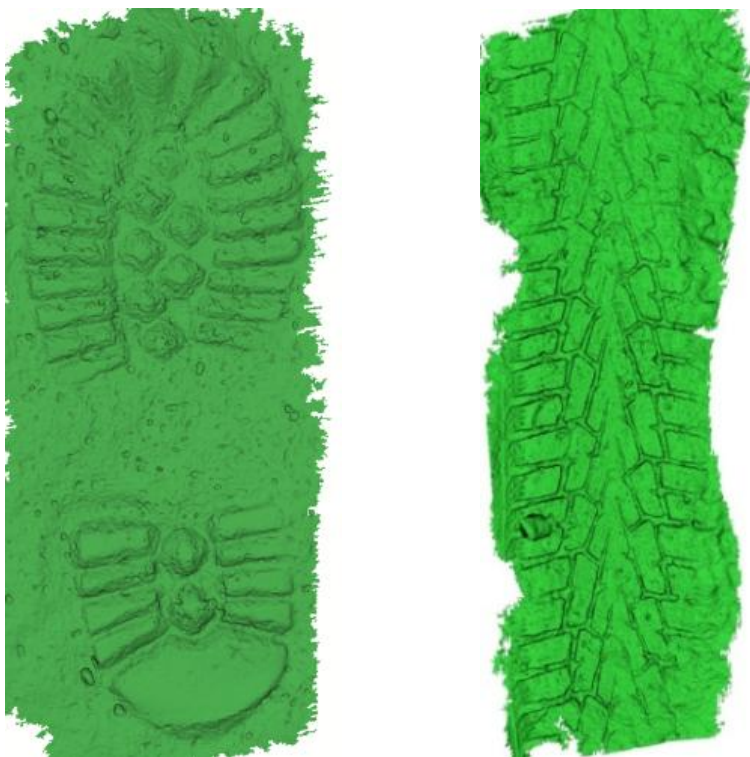


Рис. 3.20. а, б – объемные следы обуви и транспортного средства на поверхности грунта (полевые условия); в, г – их трехмерные полигональные модели, полученные сканированием с помощью затемняющего столика

При проведении 3D-сканирования объемного следа подошвы обуви в темное время суток необходимость использования затемняющего столика отсутствует, качество полигональных моделей удовлетворительное (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Полигональная модель объемного следа подошвы обуви, полученная с помощью сканера Calibry Mini в темное время суток

При 3D-сканировании в темное время суток затемняющий столик не использовался. Сканирование проводилось на открытом участке местности в непосредственной близости от источника питания (существует возможность сканирования объектов на значительном удалении от источника электронапряжения при применении удлинителя).

3D-сканирование на снежном покрове. Согласно технической документации к 3D-сканеру использование оборудования возможно в диапазоне температур от + 5 до + 40 °С.

М. В. Беляев и К. Ю. Котов в своей работе¹ провели ряд экспериментов, направленных на возможность получения полигональной 3D-модели следа подошвы обуви, образованного на снегу. В результате ими был получен положительный результат при работе сканера в условиях температурного режима + 5–10 °С. Перед началом сканирования след обрабатывался антибликовым спреем. В практических рекомендациях И. П. Захарова по фиксации следов обуви на снегу² также указано на предварительное матирование поверхности следа спреями специальных составов. Альтернативным способом матирования может являться способ окрашивания акриловыми красками преимущественно серого цвета.

Вышеуказанные авторы проводили свое исследование в лабораторных условиях, т. е. 3D-сканирование проводилось на снежном покрове, расположенном в помещении при положительной температуре воздуха. Однако ими не продемонстрирована возможность сканирования следов в уличных условиях на снежном покрове. В ходе экспериментов нами была доказана возможность использования 3D-сканера Calibry Mini при температуре окружающей среды до 0 °С. 3D-сканированию подвергся след подошвы обуви, образованный на улице в рыхлом снегу при температуре воздуха 0 °С (рис. 3.22).



Рис. 3.22. След подошвы обуви, образованный на снегу

¹ Беляев М. В., Котов К. Ю. Совершенствование методов фиксации и изъятия следов подошвы обуви, обнаруженных на снежном покрове // Вестник экономической безопасности. 2022. № 5. С. 35–41.

² Захаров И. П. Обнаружение, фиксация и изъятие латентных следов обуви под слоем снега. 130 с.

После обработки следа антибликовым спреем получить полигональную объемную модель следа подошвы обуви не получилось. После ряда неудачных попыток след был обработан различными видами красок. В ходе экспериментов на данном этапе оптимальные результаты были получены при обработке следа акриловой эмалью черного цвета (рис. 3.23).



Рис. 3.23. След подошвы обуви, обработанный краской

После обработки следа краской 3D-сканирование проводится при помощи затемняющего столика в режиме «По текстурам», в результате получается полигональная 3D-модель (рис. 3.24).

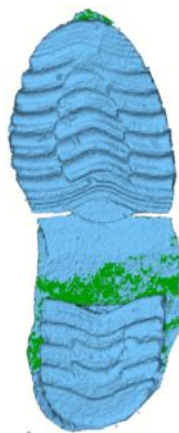


Рис. 3.24. Процесс сканирования следа обуви на поверхности рыхлого снега и его трехмерная полигональная модель

Однако при попытке сканирования объемных следов при отрицательной температуре окружающей среды результат был отрицательный. 3D-сканер при каждой попытке выдавал критическую ошибку и перезагружался. В результате нами установлено, что работа по фиксации объемных следов при температуре воздуха ниже 0 °С невозможна.

§ 3.2. Сравнение полигональных объемных следов

Сущность криминалистической идентификации в трасологии заключается в установлении факта тождества путем сопоставления объекта и его отображения. Идентифицировать объект – значит установить (выявить) его тождественность с самим собой, используя для этой цели оставленное им отображение. Иными словами, по оставленному следу-отображению с помощью трасологического исследования устанавливают, что данный след образован конкретным объектом.

При расследовании преступлений трасологические следы имеют большое криминалистическое значение. Благодаря ним эксперт может дать ценную розыскную информацию о произошедшем событии, механизме преступления. Так, по дорожке следов обуви можно установить направление передвижения преступника, по следам ходовой части – модель транспортного средства, по рисунку протектора – модель шины, по износу шины – неправильный сход и развал колес, по следам орудий взлома – вид орудия, которым образованы следы, а иногда и профессиональные качества лица, совершившего преступление, по признакам, образовавшимся в ходе эксплуатации шин, – шину и транспортное средство, по единичному следу – обувь. Следы зубов обнаруживаются и изымаются в разы реже, чем иные трасологические следы, однако их идентификационное значение очень высоко. Следы зубов могут «сказать» эксперту о возрасте и поле человека, их оставивших, установить болезни человека (пародонтоз, кариес, неправильный прикус и т. д.), а также в некоторых случаях установить профессию человека.

Для решения задачи пригодности следа для идентификации проводилось подробное изучение 3D-моделей, где оценивалась совокупность отобразившиеся идентификационных признаков.

При изучении полигональных моделей, полученных при 3D-сканировании, было установлено, что в них полно и четко отображены все идентификационные признаки: общие (форма и размеры следа, рисунок) и частные признаки (рис. 3.25–3.28).

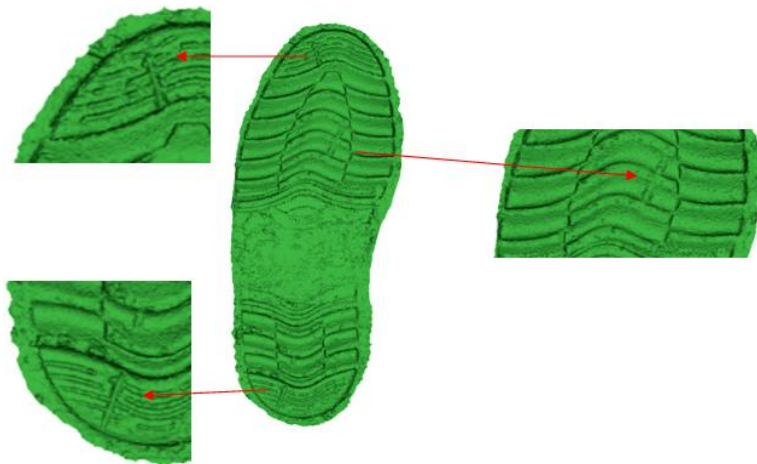


Рис. 3.25. Индивидуализирующие признаки следообразующего объекта на 3D-модели следа подошвы обуви

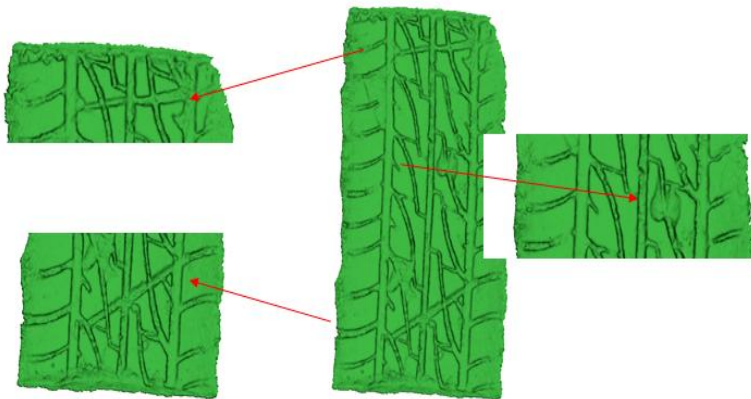


Рис. 3.26. Индивидуализирующие признаки следообразующего объекта на 3D-модели следа протектора шины автотранспортного средства

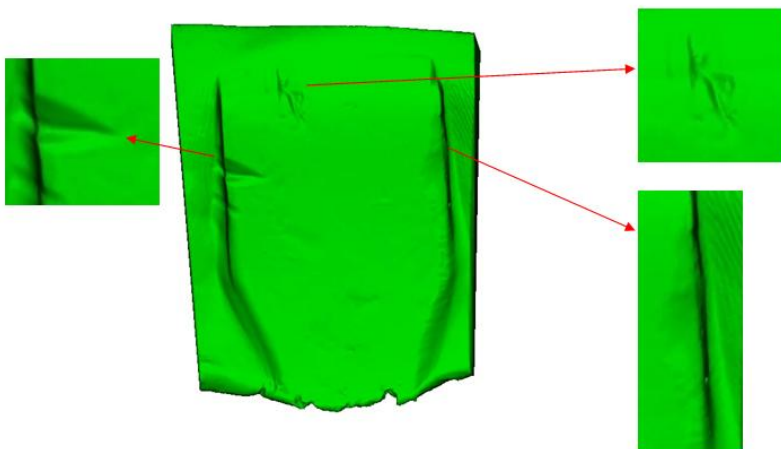


Рис. 3.26. Индивидуализирующие признаки следообразующего объекта на 3D-модели следа орудия взлома

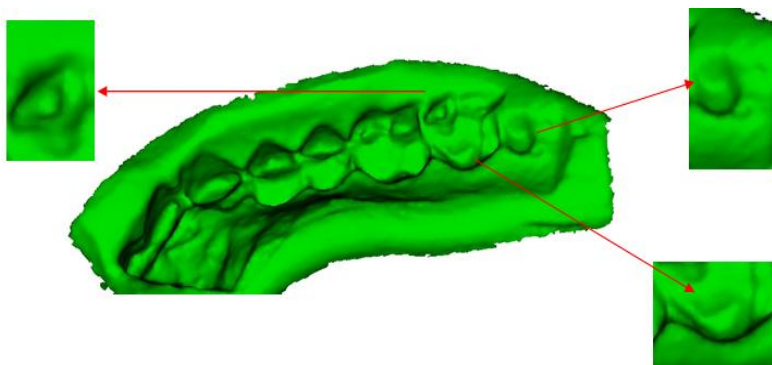


Рис. 3.28. Индивидуализирующие признаки следообразующего объекта на 3D-модели объемных следов зубов

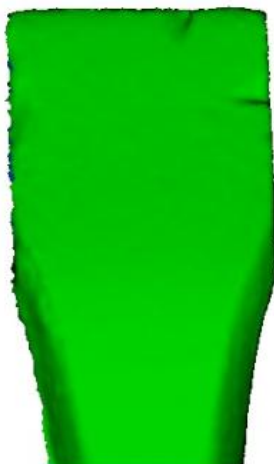
В экспертных методиках и методических рекомендациях сравнению подлежат однотипные объекты (фото – фото, слепок – слепок, след – оттиск и т. д.). В связи с этим для проведения сравнительного исследования нужно получить 3D-модели следообразующих объектов по той же технологии, что и следы (рис. 3.29).



а



б



в



г

Рис. 3.29. Полигональные модели поверхности следообразующих объектов: а – подошвенной части обуви; б – фрагмента шины транспортного средства; в – рабочей части гвоздодера; г – гипсового слепка зубов человека

При сравнительном исследовании 3D-моделей следов и полигональных моделей слеодообразующих объектов устанавливается их совпадение по всем общим признакам (форма, размерные характеристики), а также по частным (рис. 3.30–3.33). Отсканированные следы в программе Calibry Nest возможно перевернуть на другую сторону и увидеть слеодообразующую поверхность объекта.

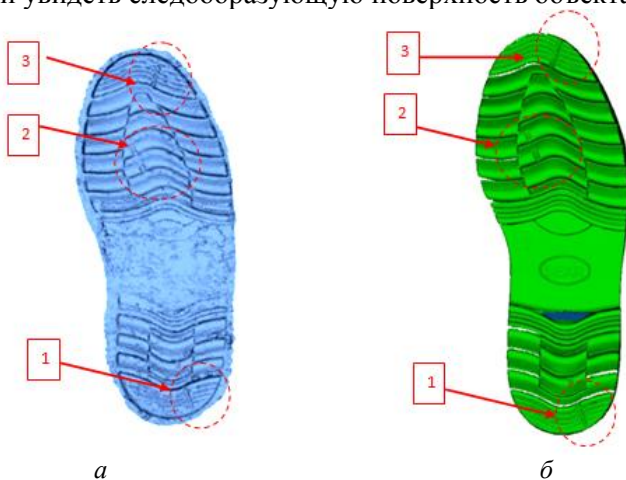


Рис. 3.30. 3D-модели: а – полигональная модель следа подошвы обуви; б – полигональная модель подошвенной части обуви

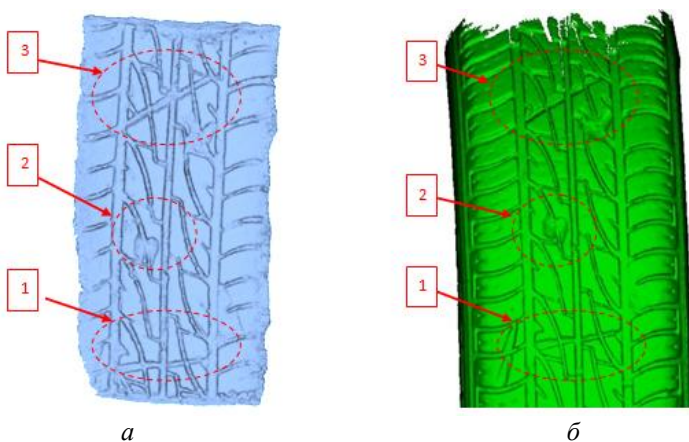


Рис. 3.31. 3D-модели: а – полигональная модель следа протектора шины транспортного средства; б – полигональная модель шины транспортного средства

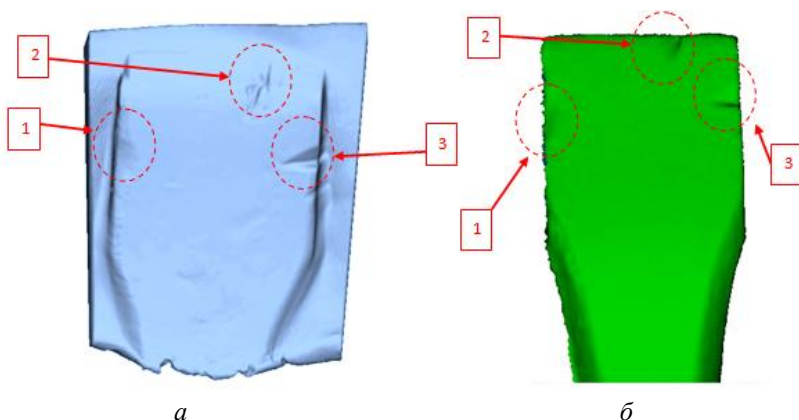


Рис. 3.32. 3D-модели: а – полигональная модель следа орудия взлома (следообразующая сторона); б – полигональная модель рабочей части гвоздодера

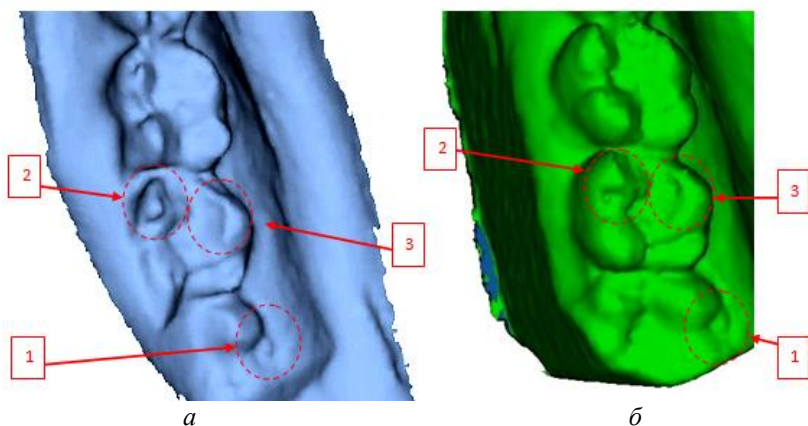


Рис. 3.33. 3D-модели: а – полигональная модель следов зубов (следообразующая сторона); б – полигональная модель гипсового слепка следов зубов

Совпадающие совокупности идентификационных признаков во всех 3D-моделях объектов существенны и достаточны для установления тождества.

Контрольные вопросы по теме
«Фиксация объемных следов с помощью 3D-сканера Calibry Mini»

1. Какой принцип заложен в основу работы 3D-сканера Calibry Mini?
2. Для чего необходима калибровка сканера и из скольких этапов состоит калибровка сканера Calibry Mini?
3. Для чего необходима команда «Регистрация»?
4. Для чего выбирается команда «Выравнивание по точкам»?
5. При каких температурах рекомендовано использовать 3D-сканер Calibry Mini?
6. Что необходимо сделать для сканирования следа на снегу?
7. Каким образом определяют выбор настроек для обработки отсканированного следа?

Заключение

В данном учебном пособии подробно рассмотрен сканер Calibry Mini. 3D-сканер входит в перечень технических средств, поставленных в рамках гособоронзаказа для экспертно-криминалистических подразделений, и с 2024 г. включен в планы семинарских и практических занятий, посвященных применению технологий 3D-сканирования следов подошв обуви и протекторов шин автотранспортных средств на кафедре трасологии и баллистики учебно-научного комплекса экспертно-криминалистической деятельности Волгоградской академии МВД России.

В пособии продемонстрирована возможность использования сканера при минусовых температурах до -5°C непродолжительное время. Показан способ сканирования объемных следов, образованных на снегу, после предварительного нанесения на их поверхность темного красящего вещества, грунтовки, распыляемой из аэрозольного баллончика. При работе на открытой местности днем, в солнечную и пасмурную погоду необходимо использование затемняющего столика для 3D-сканирования.

Полученные 3D-модели объемных следов могут быть использованы при проведении традиционных трасологических судебных экспертиз и выступать объектом исследования наравне с гипсовыми слепками и фотоизображениями. 3D-сканер Calibry Mini способен выполнять работу, связанную с фиксацией объемных следов на местах происшествий. Эксперт имеет возможность измерить объекты исследования и отобразившиеся идентификационные признаки, что повышает качество экспертиз.

Технологии 3D-сканирования активно развиваются, и на рынок выходят более совершенные модели сканеров, в конструкцию которых интегрированы запоминающее устройство и блок питания, что делает оборудование более компактным и удобным в использовании. Но качество 3D-модели зависит от навыков оператора, что подчеркивает важность обучения и повышения квалификации специалистов в области криминалистики.

Библиографический список

Нормативные правовые акты и официальные документы

1. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18.01.2001 № 174-ФЗ (ред. от 23.09.2021) // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 27.05.2026).
2. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации : федер. закон от 31.05.2001 № 73-ФЗ (ред. 01.07.2021) // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 27.05.2026).
3. О полиции : федер. закон от 07.02.2011 № 3-ФЗ // Справ.-правовая сист. «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 27.05.2026).

Учебные и научные издания

4. Гужов, В. И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения : учеб. пособие / В. И. Гужов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – 82 с. – ISBN 978-5-7782-2727-9.
5. Захаров, И. П. Обнаружение, фиксация и изъятие латентных следов обуви под слоем снега : практические рекомендации / И. П. Захаров. – Москва : ЭКЦ МВД России, 2024. – 130 с.
6. Использование цифровых технологий в технико-криминалистическом обеспечении осмотров мест происшествий : практические рекомендации / П. В. Севастьянов, В. И. Попов, С. В. Томчик [и др.]. – Москва : ЭКЦ МВД России, 2022. – 177 с.
7. Малюх, В. Н. Введение в современное САПР : курс лекций / В. Н. Малюх. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 192 с. – ISBN 978-5-94074-551-8.
8. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования» для студентов автомобильного отделения специалитета, бакалавриата очной и заочной форм обучения / сост.: Т. В. Швеёва. – Набережные Челны : Изд-во Набережночелнинского института КФУ, 2014. – 88 с.

9. Севастьянов, П. В. Использование технологий 3D-моделирования при производстве судебных экспертиз : методическое пособие / П. В. Севастьянов. – Москва : ЭКЦ МВД России, 2022. – 118 с.

10. Скрипицына, Т. Н. Курс лекций по дисциплинам «Основы архитектурной фотограмметрии» и «Архитектурная фотограмметрия» : учеб. пособие / Т. Н. Скрипицына, А. В. Уколова. – Москва : МИИГАиК, 2020. – 127 с.

11. Bethel, J. S. Photogrammetry and remote sensing / J. S. Bethel ; edited by W. F. Chen and J. Y. Richard Liew // The Civil Engineering Handbook. – Boca Raton : CRC Press LLC, 2003. – P. 2161–2199. – ISBN 0-8493-0958-1.

12. Cornford, F. M. D. Plato's cosmology: the Timaeus of Plato / F. M. D. Cornford. – Abingdon : Routledge, 2014. – 398 p. – ISBN 9781317830351.

Научные статьи

13. Беляев, М. В. Возможности портативных триангуляционных 3Д сканеров в трасологических исследованиях / М. В. Беляев // Вестник экономической безопасности. – 2022. – № 3. – С. 41–45.

14. Беляев, М. В. Совершенствование методов фиксации и изъятия следов подошвы обуви, обнаруженных на снежном покрове / М. В. Беляев, К. Ю. Котов // Вестник экономической безопасности. – 2022. – № 5. – С. 35–41.

15. Бондар, М. Д. 3D-Моделирование / М. Д. Бондар, А. В. Паврозин // Прикладные вопросы точных наук : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, преподавателей, Армавир, 20–21 октября 2017 г. – Армавир : Типография имени Георгия Скорины, 2017. – С. 242–244.

16. Несмиянова, И. О. Использование современных информационных технологий в производстве трасологических экспертиз и исследований / И. О. Несмиянова // Вестник экономической безопасности. – 2022. – № 3. – С. 169–172.

17. Несмиянова, И. О. 3D сканирование в экспертной деятельности: понятие, сущность и возможности применения / И. О. Несмиянова // Systems and management. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 50–67.

18. Низов, Я. А. Методика неразрушающей разборки, сохранения и музеефикации археологических объектов / Я. А. Низов,

М. А. Фаустов, Р. С. Малай // Бюллетень Института истории материальной культуры Российской академии наук: (охранная археология) : сб. ст. – Санкт-Петербург : Институт истории материальной культуры РАН, 2024. – С. 324–332.

19. Телятицкая, Т. В. Использование цифровой фотографии на местах происшествия при производстве судебных экспертиз / Т. В. Телятицкая // Технологии в инфосфере. – 2021. – Т. 2, № 2. – С. 68–76.

20. Хисматуллина, В. Т. Структурированный свет в Kinect / В. Т. Хисматуллина // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 5 (16). – С. 25–26.

21. Цапко, И. В. Алгоритмы и методы обработки информации в задачах трехмерного сканирования объектов / И. В. Цапко, С. Г. Цапко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2010. – Т. 317, № 5. – С. 134–140.

22. Шутова, А. С. Об интеграции 3d-технологий в процесс производства транспортно-трассологических исследований / А. С. Шутова // Журнал «Безопасность дорожного движения». – 2024. – № 3. – С. 36–40.

23. Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: with high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation / U. Buck, S. Naether, M. Braun [et al.] // Forensic Science International. – 2007. – Vol. 170, № 1. – P. 20–28.

24. Besl, P. J. A Method for Registration of 3-D Shapes / P. J. Besl, N. D. McKay // A IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – Vol. 14. – P. 239–256.

25. Boehler, W. 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: A Comparison / W. Boehler, A. Marbs // Geoinformatica. – 2002. – URL: https://www.researchgate.net/publication/228685064_3D_scanning_and_photogrammetry_for_heritage_recording_A_comparison (accessed: 01.06.2026).

26. Borrmann, D. The 3D Hough Transform for plane detection in point clouds: A review and a new accumulator design / D. Borrmann, J. Elseberg, K. Lingemann, A. Nüchter // 3D Research. – 2011. – Vol. 0202. – URL: https://www.researchgate.net/publication/228754371_The_3D_Hough_Transform_for_plane_detection_in_point_clouds_A_review_and_a_new_accumulator_design (accessed: 01.06.2026).

27. Comparison of the Selected State-of-the-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Processing Methods / V. Lehtola, H. Kaartinen, A. Nüchter [et al.] // Remote Sensing. – 2017. – Vol. 9. – P. 796.

28. Edl, M. 3D laser scanners: history and applications / M. Edl, M. Mizerák, J. Trojan // Acta Simulatio. – 2018. – Vol. 4, № 4. – P. 1–5.

29. González-Aguilera, D. Photogrammetry and 3D Modelling for Crime Scene Reconstruction: A Case Study in Forensic Science / D. González-Aguilera, P. Rodríguez-Gonzálvez // Journal of Forensic Sciences. – 2010. – Vol. 55 (6). – P. 1623–1628.

30. Kowbuz, D. How 3D scanning rebuilds crime scenes for courtrooms? / D. Kowbuz // Gim International. – 2020. – URL: <https://www.gim-international.com/content/article/how-3d-scanning-rebuilds-crime-scenes-for-courtrooms> (accessed: 01.06.2026).

31. Kriminal Technik. – 2018. – № 3. – P. 11.

32. Urbanova, P. Testing photogrammetry-based techniques for three-dimensional surface documentation in forensic pathology / P. Urbanova, P. Hejna, M. Jurda // Forensic Science International. – 2015. – Vol. 250. – P. 77–86.

Диссертации

33. Аксенов, А. Ю. Модели и методы обработки и представления сложных пространственных объектов : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.01 / Аксенов Алексей Юрьевич. – Санкт-Петербург, 2015. – 110 с.

Сайты

34. Австралийская полиция восстанавливает картину места преступления с помощью 3D-сканера за считанные минуты // 3Dtoday : сайт. – URL: <https://3dtoday.ru/industry/australian-policerestores-the-picture-of-the-scene-of-the-crimewith-the-help-of-3d-scanner-in-minu.html/> (дата обращения: 01.06.2026).

35. Виртуальный криминалист // КИБЕР Холдинг : сайт. – URL: <https://k-integration.ru/product/virtualnyj-kriminalist/> (дата обращения: 12.06.2026).

36. Faro Can Be Used to Understand and Make or Break a Courtroom Case // 3dprint : website. – URL: <https://3dprint.com/115609/faro-virtual-reality-scanners/> (accessed: 01.06.2026).

37. FCIR Terrestrial Laser Scanning Solution // RIEGL : website. – URL: <https://www.riegl.co.uk/fcir> (accessed: 01.06.2026).

38. Guidelines for Calibrated Scale Bar Placement and Processing // Cultural Heritage Imaging. – 2015. – URL: https://www.agisoft.com/pdf/tips_and_tricks/CHI_Calibrated_Scale_Bar_Placement_and_Processing.pdf (accessed: 01.06.2026).

39. Olah TKP dengan 3D Laser Scanner // Alatujigeoteknik : website. – URL: <https://alatujigeoteknik.com/olah-tpk-dengan-3d-laser-scanner/> (accessed: 01.06.2026).

40. Oude technieken museum // AGA Museum te Emmen : website. – URL: <https://www.aga-museum.nl/aga-geodimeter-3-8/> (accessed: 01.06.2026).

41. 3D scanners for forensics // Artec 3D : website. – URL: https://www.artec3d.com/3d-scanning-solutions/forensic?keyword=&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIvODurJOvjAMVXYT9BR2a_y12EAAYAiAAEgIOufD_BwE (accessed: 01.06.2026).

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Евстропов Дмитрий Анатольевич

Попов Андрей Игоревич

Абрамов Виталий Андреевич

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛЕДОВ
В ТРАСОЛОГИИ

Учебное пособие

Редактор *Е. О. Степаненко*

Компьютерная верстка *Н. А. Доненко*

Дизайн обложки *Н. А. Доненко*

Волгоградская академия МВД России.
400075, Волгоград, ул. Историческая, 130.

Редакционно-издательский отдел.
400005, Волгоград, ул. Коммунистическая, 36.

Подписано в печать 30.06.2026. Формат 60х84/16.
Гарнитура Times New Roman. Физ. печ. 7,5 л. Усл. печ. 6,98 л.
Тираж 70 экз. Заказ 31.

ОПиОП РИО ВА МВД России. 400005, Волгоград, ул. Коммунистическая, 36.