Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru

Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии

В.В. Коренев[1], Н.С. Орлова [2]*, А.В. Улыбин [3], С.Д. Федотов [4]

[1,4] ООО "ОЗИС-Венчур", 195257, г. Санкт-Петербург, ул. Вавиловых, д. 4, корп. 1, пом. 455

[2,3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

doi: 10.18720/CUBS.65.3

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 12.03.2018

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Обследование зданий;
фотограмметрия;
ортофотоплан;
фасады;
квадрокоптер;
аэросъемка;
обмерные работы;

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается метод визуального обследования и контроля зданий и сооружений с помощью аэросъемки с беспилотного летательного аппарата. Постоянное совершенствование программ по фотограмметрической обработке серьезно расширяет возможности этого метода и позволяет применять его различными способами. Цель данной статьи - доказать применимость метода фотограмметрии при использовании в обследовании зданий и сооружений, а также в строительном контроле. Аэросъемка и построение виртуальной трехмерной модели зданий и сооружений находит применение на многих этапах строительства, ремонта и реконструкции зданий. Облет здания и съемка с воздуха позволяют осмотреть недоступные участки, а систематизация отснятого материала дает новые возможности при выявлении дефектов и повреждений. Кроме того, периодичная сплошная съемка сооружения может быть полезна при длительном мониторинге за его состоянием. Приведенные в статье практические результаты использования данного метода строительного контроля позволяют говорить о том, что с помощью фотограмметрии можно получить результаты, пригодные как для обмеров здания с высокой точностью, так и для проверки строительных работ. Рассмотренная методика является современной и актуальной в сфере строительного контроля, а также качественно расширяет арсенал специалистов по обследованию и надзору за строительством.

Содержание

1. Введение 41
2. Методы 42
3. Результаты и обсуждение 48
4. Заключение 53

Контактная информация:

1 +7(906)2296153, eddiecleveland@mail.ru (Коренев Валерий Валерьевич, инженер)
2* +7(911)1637749, orlova.ns@edu.spbstu.ru (Орлова Нина Сергеевна, студент)
3 +7(921)7774516, ulybin@mail.ru (Улыбин Алексей Владимирович, к.т.н., доцент)
4 +7(911)9167802, fed87@mail.ru (Федотов Сергей Дмитриевич, главный инженер)

1. Введение

В современном мире все большее распространение получают легкие мультироторные беспилотные летательные аппараты - дроны, оснащенные различным оборудованием.

Беспилотный летательный аппарат мультироторного типа (дрон) – это устройство, оснащенное несколькими винтами, а также различными узлами, обеспечивающими стабильность и автономность полета (рис. 1). Дрон с четырьмя винтами именуется квадрокоптером (рис. 2) и является наиболее простым с точки зрения количества винтов. Незаменимыми в составе дрона являются системы спутниковой навигации и обмена данными с наземным пилотом, в частности, передача изображения с бортовой камеры на пульт управления.

Рисунок 1. БПЛА мультироторного типа DJI S1000

Рисунок 2. Квадрокоптер DJI Phantom 4 Obsidian

Подавляющее большинство дронов используется для аэросъемки, т.е. для фиксации фотографий и видеосъемки с воздуха. Среди различных типов БПЛА именно дрон обладает необходимой маневренностью, автономностью и удобством, что делает его незаменимым при разнотипных съемках. Ключевым механизмом в данном случае является стабилизирующий подвес камеры, подавляющий крены и вибрации, возникающие при полете аппарата.

Среди причин растущей популярности использования БПЛА в профессиональной деятельности, можно выделить:

- повышение доступности технологии беспилотного полета дистанционно управляемого аппарата

- снижение цены до уровня, делающего покупку такого аппарата возможной для широкого круга специалистов различных отраслей

- многообразие комплектаций, обеспечивающее применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных сферах, таких как, доставка грузов, картография и сельское хозяйство.

Значительная часть отечественных [1-4] и зарубежных [5-8] публикаций посвящены изучению использования БПЛА именно в сфере картографии с целью создания цифровых моделей рельефа высокого разрешения, предназначенных, в том числе, для геоморфометрического моделирования [9] и экологического мониторинга [4]. При этом отмечается, что в сфере строительства данные по рельефу и съемке окружающего ландшафта, полученные с использованием дронов, могут быть использованы при проведении инженерно-геологических изысканий, топографической съемке местности и мониторинге зон строительства [10].

Во многих публикациях отечественных и зарубежных авторов также отражены результаты использования БПЛА как в качестве средства геодезического обеспечения археологических исследований [11-14], так и как средства изучения и реконструкции памятников архитектуры и объектов культурного наследия [15], а также как средство их фиксации [16]. Некоторые из исследований [17-19] приводят описание процесса и результатов создания трехмерных моделей объектов и памятников исторического и культурного наследия.

В то же время, практические результаты и проблемы применения БПЛА в целях обследования, выполнения обмерных работ, строительного контроля и наблюдения за ремонтом и усилением зданий и сооружений мало освещены в технической литературе. А ведь для определения фактического технического состояния конструкций практически всегда выполняется визуальное обследование [20]. Среди публикаций отечественных исследователей, занимающихся вопросами применения БПЛА для вышеуказанных целей,

следует отметить статью А.Л. Туккия, А.О. Мамонова [21]. Полученный авторами [21] опыт использования квадрокоптеров для обследования зданий и сооружений позволяет судить о большом потенциале данной технологии и необходимости дальнейшего ее изучения. Среди зарубежных авторов следует обозначить статью авторов Mark C. Tatum, Junshan Liu [22], описывающую опыт применения БПЛА при строительных работах, проводимых в США. По данным проведенного ими путем опроса исследования, визуальное обследование является одним из основных направлений использования квадрокоптеров на строительной площадке. Авторы [22] также приводят перечень и анализ рисков, связанных с использованием подобных технологий в строительной сфере.

В рамках настоящего исследования рассматривается применение дронов для аэросъемки в сфере промышленного и гражданского строительства, в частности, в процессе возведения строения, при обследовании уже построенных зданий сооружений, а также при ведении строительного контроля и наблюдения за ремонтом и усилением. Сам по себе квадрокоптер является удобным и незаменимым инструментом для решения задач по съемке недоступных объектов, высотных сооружений и т.п. Однако, отдельные фотографии могут быть обработаны методом фотограмметрии, что существенно расширяет возможности применения. Под фотограмметрией в данном случае понимается процесс автоматизированной обработки нескольких фотографий объекта, результатом которого является вычисление размеров и положения его в пространстве и построение трехмерной виртуальной модели. Такой метод позволяет использовать фотографии объекта как основу для получения широкого спектра обработанных материалов, таких как полигональные модели и ортофотопланы [23].

Авторы статьи пользуются программным обеспечением российской разработки Photoscan Pro от компании Agisoft LLC. Приложение реализует широкий спектр функций по обработке массивов фотографий и позволяет построить детальную модель объекта [24, 25].

Цель данной публикации – показать применимость методов фотограмметрии в сфере строительного контроля и обследования зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– Рассмотрена аэросъемка с беспилотного летательного аппарата как способ визуального обследования и фотофиксации высотных сооружений.

– Показано применение результатов аэросъемки в сочетании с фотограмметрической обработкой для таких видов работ, как визуальное обследование зданий, обмеры конструкций, наблюдение за строительным процессом, контроль выполненных работ, мониторинг за состоянием сооружения.

– Выявлены и описаны достоинства и недостатки фотограмметрии на примере реальных объектов.

2. Методы

2.1. Традиционные методы обследования и строительного контроля фасадов

Рассмотрим традиционные методы обследования и строительного контроля фасадов, применяемые на различных этапах процесса обследования зданий и сооружений.

Одним из ключевых этапов в процессе обследования зданий и сооружений являются обмеры и дальнейшее воспроизведение объекта в чертежах и схемах. Традиционный подход к выполнению обмеров недоступных конструкций обычно включает в себя:

1. Изготовление подосновы (набросок здания на бумаге, печатный или ручной);
2. Съемка объекта электронным тахеометром и нанесение точек вручную на подоснову (рис. 3,4), либо применение лазерного сканирования;
3. Камеральная обработка облака точек – интерпретация отснятых точек и воспроизведение по ним контуров интересующих конструкций (рис. 5,6);
4. Разработка чертежей конструкций и нанесение размеров.

Рисунок 3. Многоквартирный жилой 19-этажный дом

Рисунок 4. Геодезическая съемка фасада

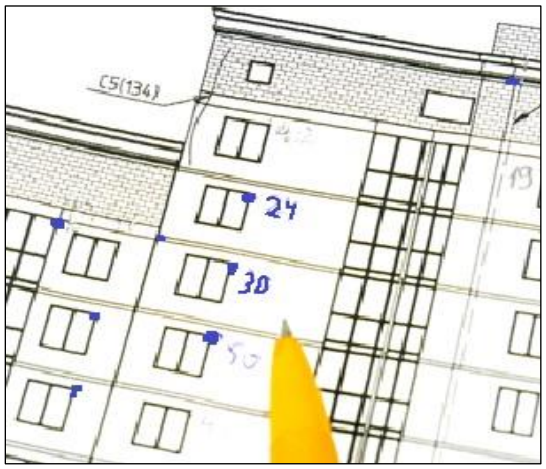

Рисунок 5. Отметка снятых точек на подоснове

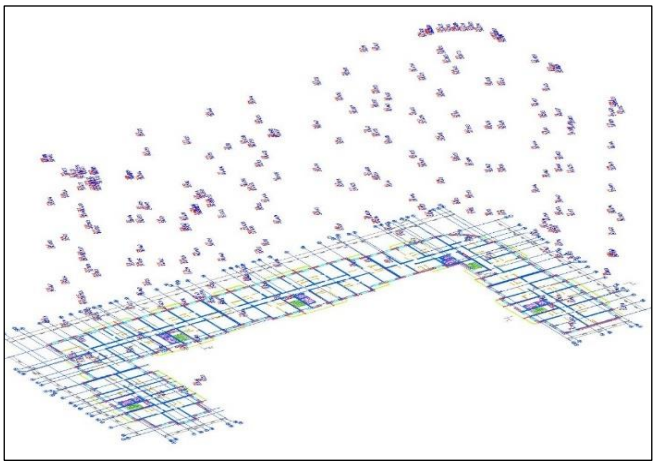

Рисунок 6. Облако снятых точек в программе AutoCad

Данный подход работоспособен и дает требуемую точность при обмерах недоступных объектов, однако имеет ряд недостатков, главный из которых - это упрощенное графическое представление объекта на чертеже. Ряд задач предполагает не только наличие контуров конструкций, но также отображение текстуры и внешнего вида. Такую возможность дает использование лазерного сканирования с построением трехмерной текстурированной модели. Точность этого метода высока. Однако, помимо высокой стоимости оборудования и трудоемкой последующей обработки, нерешенной остается задача по съемке тех участков сооружения, которые не находятся в прямой видимости сканера, расположенного на земле. Размещение прибора на высоте рядом с фасадом здания зачастую невозможно. Для решения этой задачи идеально подходит аэросъемка с последующей фотограмметрической обработкой модели. При качественно выполненной съемке и обработке с высокой детализацией точность в размерах модели здания составляет 1-2 см, что достаточно для большинства задач в обследовании фасадов.

На следующем этапе обследования зданий выполняется фиксация дефектов и повреждений. В случае обследования фасадов, последовательность работ выглядит следующим образом:

5. Изготовление бумажной подосновы
6. Съемка дефектов фотоаппаратом в процессе визуального осмотра
7. Отметка участков и их расположения вручную на подоснове (рис.7)
8. Последовательный просмотр фотографий для выявления и описания дефектов
9. Сопоставление мест съемки с чертежами и разработка карт дефектов и повреждений с их указанием с помощью условных знаков.

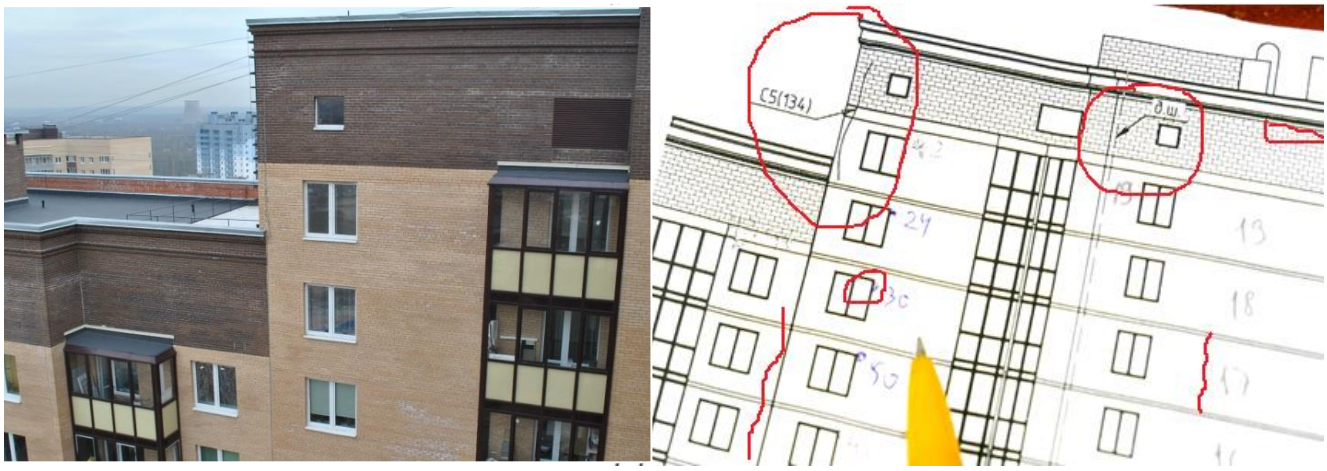

Рисунок 7. Отметка выявленных дефектов на подоснове

Как правило, при визуальном обследовании осмотр и фотофиксация состояния фасада выполняется традиционными способами, которые имеют свои недостатки:

1. Осмотр с применением зрительной трубы – длительная процедура, требующая значительных трудозатрат и внимательности исполнителя, а также немедленного занесения на бумагу обнаруженных дефектов. Велика вероятность пропустить дефект, особенно при осмотре высотных зданий.
2. Фотофиксация с использованием телеобъективов, дающих нужное приближение и детализацию. Такой метод дает более наглядные результаты, чем предыдущий, однако обладает несколькими важными нюансами. Так, фотографирование высотных зданий возможно лишь на большом удалении от фасада, иначе не избежать сильных перспективных искажений в кадре. Это правило зачастую не выполнимо по причине стесненных условий или ограниченной видимости фасада. В редких случаях фотосъемку высотного строения удается произвести с соседнего здания. Кроме того, некоторые участки фасада могут иметь такую форму, при которой их видимость может или отсутствовать, или быть чрезвычайно затрудненной.
3. Обследование фасада методом промышленного альпинизма. Данный способ представляется наиболее детальным и достоверным, ведь альпинист видит дефекты непосредственно перед собой. Однако для выполнения качественной работы высотник должен обладать высокой квалификацией в сфере обследования зданий и иметь большой инженерный опыт, что на практике достигается очень редко из-за нехватки квалифицированных работников. Кроме того, альпинист обязан оперативно заносить отмеченные дефекты на бумажный носитель, что затруднено при обследовании крупных объектов, а также таких, где нельзя структурировать участки по этажам или секциям, например, при обследовании сплошных стен или дымовых труб. Наконец, в случае фотографирования фасадной стены альпинист в основном будет находиться рядом с поверхностью, что исключает получение общих планов на фотографии даже в случае применения широкоугольного объектива. В процессе фотофиксации высотнику приходится наносить на бумагу не только выявленные дефекты, но и номера соответствующих фотоснимков.

Обзор традиционных методов обследования и строительного контроля фасадов, применяемых на различных этапах процесса обследования зданий и сооружений, показал, что они обладают рядом недостатков, которые могут быть устранены в случае использования аэросъемки с последующей фотограмметрической обработкой модели. При качественно выполненной съемке и обработке с высокой детализацией можно получить результаты, достаточные для большинства задач в обследовании фасадов.

2.2. Метод аэросъемки с последующей обработкой результатов фотограмметрии

В случае использования метода облета фасада с выполнением аэросъемки, а затем построения трехмерной модели здания или его участков, процесс будет состоять из следующих операций:

1. Сплошная съемка участка здания с помощью дрона с камерой высокого разрешения (рис. 8,9,10);
2. Массовая обработка фотографий для повышения их качества: коррекция освещенности, подавление шумов и др.;
3. Фотограмметрическая обработка большого количества фотографий в программе (например, Agisoft Photoscan) с построением модели здания и экспортом ортофотопланов и других проекций объекта с нужных ракурсов;
4. Исследование ортофотопланов в сверхвысоком разрешении, выявление дефектов на точной масштабной проекции объекта.

Рисунок 8. Экран для приема видеосигнала

Рисунок 9. Фотография фасада с расстояния 10 м

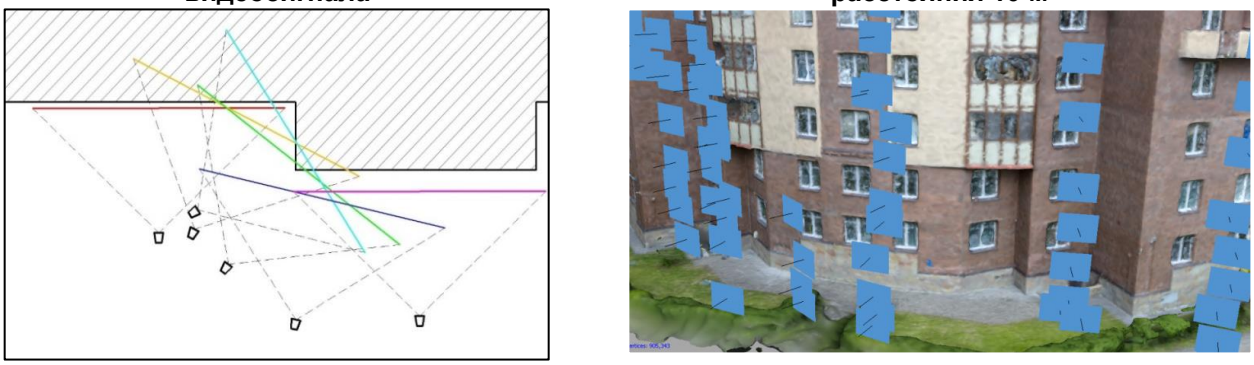

Рисунок 10. Процесс съемки аэрофотографий объекта с разных ракурсов

При правильно выполненной фотосъемке и грамотной обработке программное обеспечение позволяет получить достаточно точную масштабную модель сооружения. Тем не менее, для улучшения точности построения полезно использовать дополнительные данные геодезических измерений для точной привязки объектов.

Маркеры с известными координатами позволяют точно ориентировать модель в пространстве, а также задать фактические размеры конструкций. Реальные графические маркеры могут быть распознаны программой при обработке (рис.11) и будут участвовать в ней как отправные точки. Такие маркеры могут быть распечатаны и установлены на конструкции.

Однако, размещение маркеров на поверхности здания зачастую недоступно или слишком затратно. Поэтому в качестве опорных точек могут быть использованы любые характерные точки фасада, например, угол оконного проема или любой подходящий точечный участок. Затем соответствующие виртуальные

маркеры можно расставлять вручную на фотографиях или в модели. Пример выбора опорных точек на фасаде показан на рис. 12,13.

Рисунок 11. Установка распечатанных маркеров на фасад для авто-распознавания

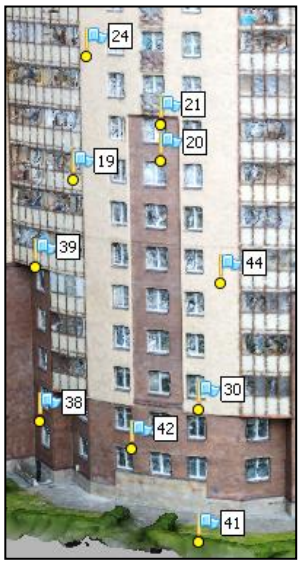

Рисунок 12. Расстановка маркеров на 3D модели

Рисунок 13. Расстановка точек на ортофотоплане

Вручную можно ввести координаты маркеров, соответствующих точкам геодезической съемки (рис. 14). Ключевые точки фасада снимаются электронным тахеометром.

Маркеры	X (м)	Y (м)	Z (м)	Точность (м)	Ошибка (м)
3	-3.910000	11.063000	1.162000	0.005000	0.002112
10	-6.548000	2.729000	2.052000	0.005000	0.002042
11	-3.919000	11.045500	2.258000	0.005000	0.002193
12	0.877100	9.807000	2.894000	0.005000	0.003019

Рисунок 14. Координаты маркеров в формате «X, Y, Z»

Автоматизированная обработка фотографий и реконструкция трехмерной модели происходит в программе «Agisoft Photoscan» следующим образом:

1. Начальным этапом является процесс выравнивания фотографий. В этот момент происходят вычисления взаимного положения фотографий, их связующих точек и пространственных позиций объектов. Фототриангуляция выполняется с лучшим качеством, если в обработке находятся детализованные фотографии с наибольшего количества разных ракурсов и обширными перекрытиями (не менее 60%). Кроме того, при выравнивании используются данные о привязке объектов, т.е. координаты маркеров или GPS позиционирования. В итоге образуется облако связующих точек (рис. 15).
2. На основе разреженного облака связующих точек вычисляется так называемое «плотное облако» в необходимой детализации. Количество точек плотного облака варьируется в зависимости от выбранной точности и может достигать десятков миллионов точек. Точки несут информацию о цвете и представляют собой очертания здания в трехмерном пространстве (рис. 16). На этом этапе выполняется ручная коррекция облака точек и обрезка лишних фрагментов.
3. Построение трехмерной полигональной модели (рис. 17) ведется на основе данных плотного облака. Результатом вычислений является объемная виртуальная копия объекта, с которой можно экспортировать различные виды и проекции, в частности, ортофотоплан (рис. 18).
4. Ортофотоплан служит универсальным инструментом для получения изображения объекта с различных ракурсов, в т.ч. вид на заданную плоскость. Для указания плоскости достаточно

задать три маркера на модели. Являясь ортогональной проекцией, ортофотоплан несет полезную информацию о размерах и текстурном рисунке объекта, т.е. превосходит по наглядности чертежное представление фасада (рис. 19).

Рисунок 15. Облако связующих точек для всех фотографий

Рисунок 16. Плотное облако точек формирует очертания трехмерной модели

Рисунок 17. Полигональная 3D модель с текстурой

Рисунок 18. Ортофотоплан центрального фасада

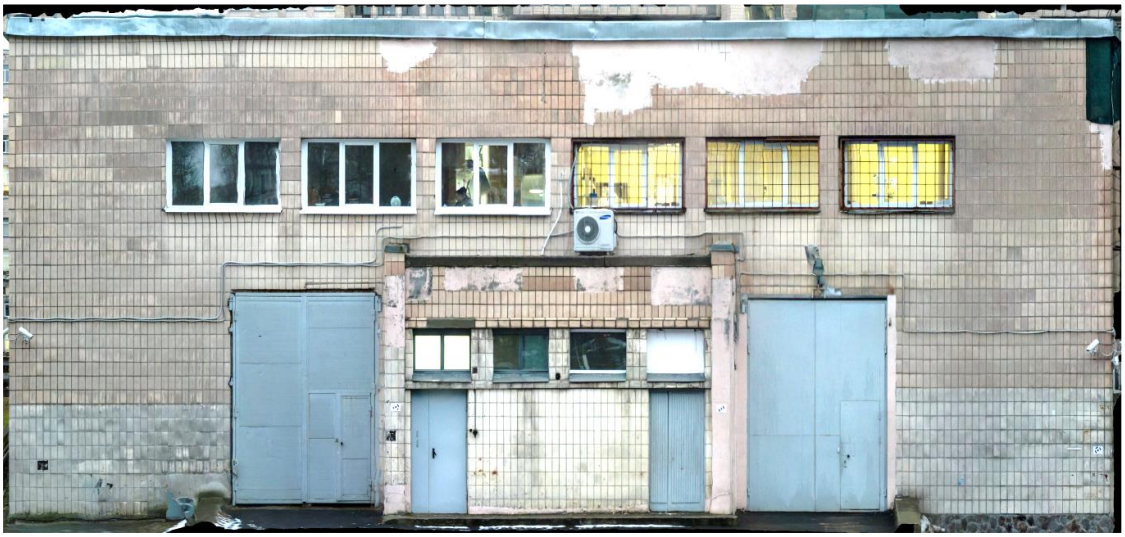

Рисунок 19. Ортофотоплан фасада производственного здания

Одним из способов последующей обработки может являться так называемая «плиточная модель». Модель представляет собой трехмерную копию объекта (рис. 21), покрытую текстурой высокого разрешения, т.е. практически изображает исследуемый объект (рис. 20) в виртуальном пространстве. При работе со зданиями и сооружениями зачастую бывает полезно выполнить осмотр такой модели в камеральных условиях, т.е, не находясь при этом рядом с самим строением.

Рисунок 20. Жилое здание в Санкт-Петербурге

Рисунок 21. Виртуальная «плиточная» модель здания для визуального осмотра

3. Результаты и обсуждение

3.1 Возможности применения полученных результатов

Применение результатов аэрофотосъемки и фотограмметрии возможно при обследовании и контроле состояния зданий и сооружений.

3.1.1. Визуальное обследование

Аэросъемка выполняется под нужными ракурсами (рис. 22). В свою очередь, ортофотоплан может быть выполнен не только в основной плоскости фасада, но и под любыми углами. Так, построение ортофотоплана под углом в 45° (рис. 23) позволяет исследовать дефекты, развивающиеся на углах здания, или на перпендикулярных фасаду участках.

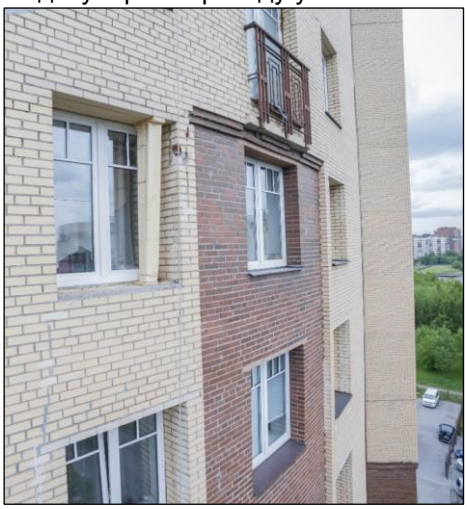

Рисунок 22. Фотография фасада с дрона. Для построения ортофотоплана фасада выполняются снимки с разных ракурсов

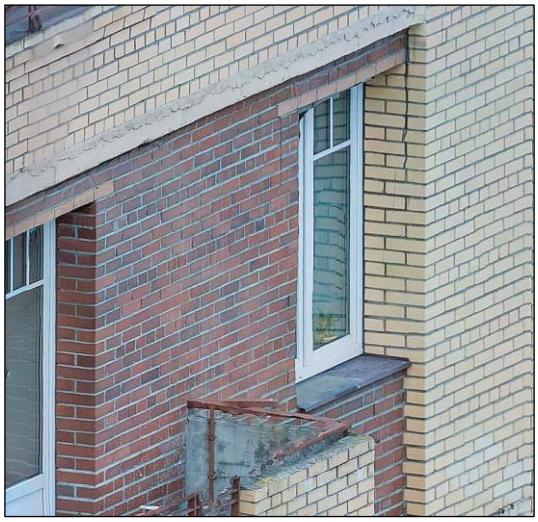

Рисунок 23. Фрагмент готового ортофотоплана фасада под углом. Видно вертикальную трещину в простенке

Преимущество такого подхода заключается в наглядном представлении объекта в графическом виде. Сплошное изображение фасада ускоряет и облегчает работу с дефектной картой, ведь ортофотоплан уже является масштабной моделью части здания, например, фасадной стены. За счет высокого разрешения (до 1 мм на пиксель) изображение получается четким и детальным, что помогает различить дефекты (рис. 24), а также сопоставить их с соседними (например, осадочные трещины).

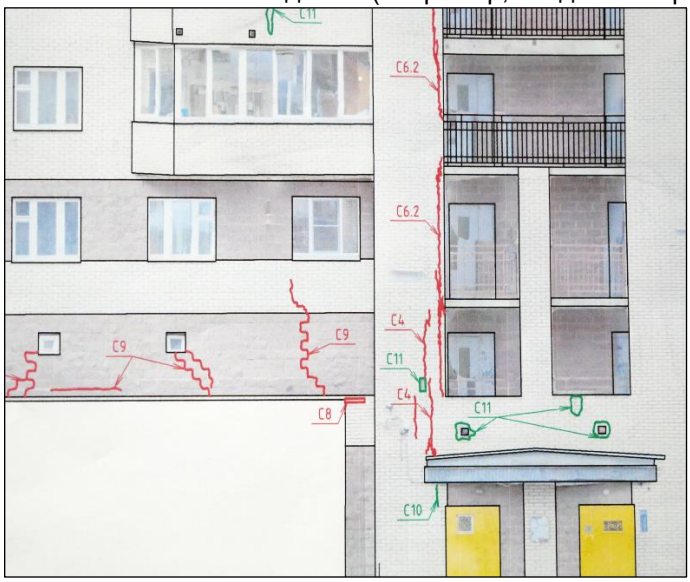

Рисунок 24. Дефекты, нанесенные на карту после классификации

В случае применения ортофотоплана в качестве основы для карты дефектов и повреждений (рис. 25), становится возможным с высокой точностью измерить и подсчитать объемы для сметного расчета, в частности, количество материалов для локального ремонта сооружения.

Рисунок 25. Карта дефектов и повреждений фасада многоквартирного дома.

Чертеж выполнен на основе ортофотоплана в масштабе 1:100

3.1.2. Работы по ремонту здания и надзор за их выполнением

Проработанная дефектная карта на основе ортофотоплана может быть передана в разработку проекта усиления или ремонта здания. Чертеж с фотореалистичным изображением объекта будет полезен на всех этапах строительного процесса, в особенности при фасадных работах (рис. 26). Мастер при работе

с фасадом сможет точно определять места установки конструкций усиления или участки ремонта, ориентируясь по изображению стены, например, считая по кирпичам.

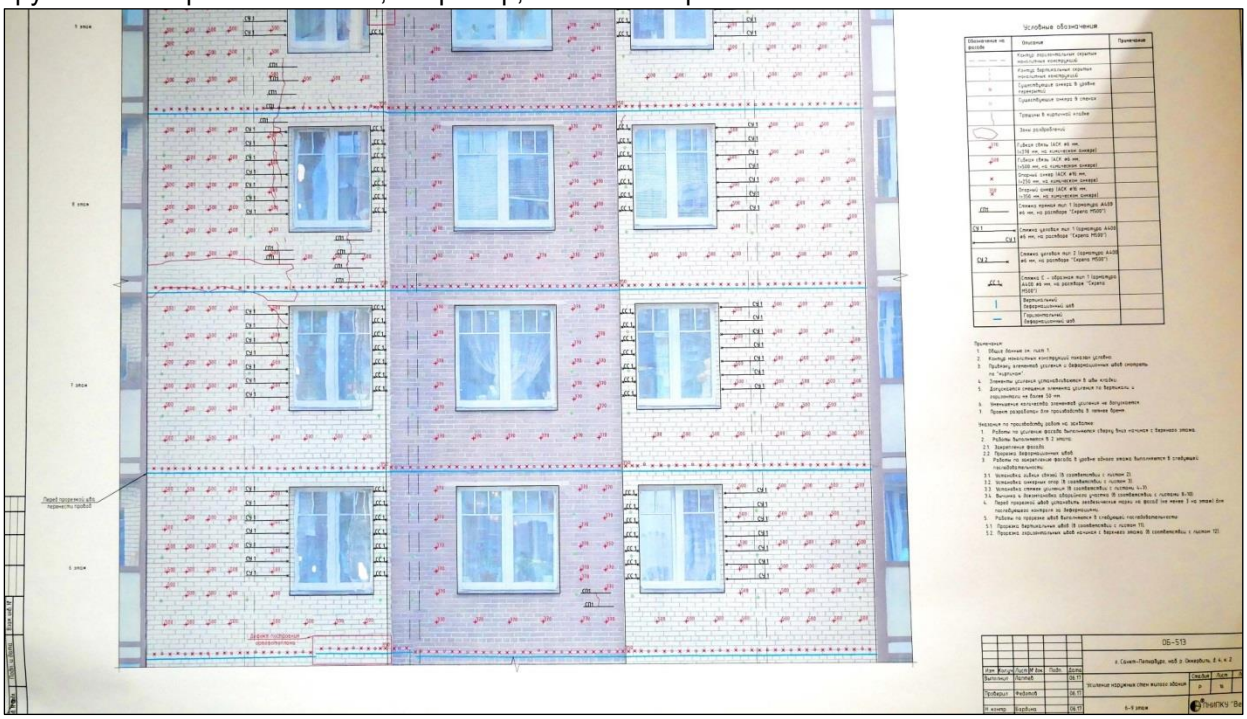

Рисунок 26. Лист из проекта усиления фасада жилого здания. Чертеж на основе ортофотоплана

Трехмерная плиточная модель объекта может помочь при необходимости уточнения внешнего вида фасада на каком-либо участке для улучшения наглядности восприятия документации. Также она может служить основой для линейных измерений фрагментов фасада.

В свою очередь, метод аэросъемки с фотограмметрической обработкой позволяет оценить качество выполненного ремонта, а также произвести оценку расположения конструкций усиления и их количество. Метод может служить основным способом для разработки исполнительных схем и их проверки, в частности, в процессе ведения технического надзора за строительными работами. Специалист по надзору может дистанционно контролировать объем выполненных работ на недоступных участках фасада. Ортофотоплан является удобным инструментом для обмена информацией между строительными организациями. Детализация хорошего ортофотоплана позволяет различать мелкие дефекты, а также определять наличие конструкций, например, таких как химический анкер или скоба усиления кладки (рис. 27, 28).

Рисунок 27. Пример детализации ортофотоплана

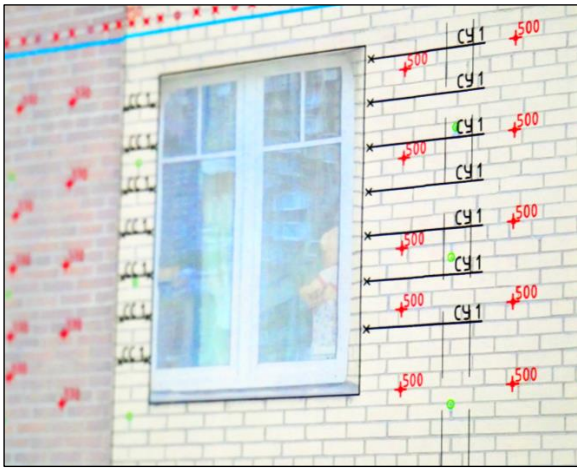

Рисунок 28. Расстановка конструкций усиления

3.1.3. Применение в мониторинге за состоянием зданий и сооружений

Особое внимание следует уделить возможности использования метода для ведения мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений [26-32]. Рассмотрим данный вопрос на примере мониторинга состояния фасадов многоквартирных домов.

Традиционный подход предусматривает визуальное обследование с разработкой карты дефектов фасада. Также зачастую на трещины устанавливаются маяки, а на конструкции крепятся геодезические марки для наблюдения за деформациями.

Однако, визуальное обследование зданий выше 10-15 м затруднено без использования беспилотного аппарата с камерой. Применение дрона решает проблему видимости недоступных участков, а с оснащением хорошей камерой становится возможным распознать и сфотографировать даже слабо различимый дефект. Большое преимущество несут в себе ортофотопланы объектов: сопоставляя результаты съемок за длительный период времени, можно делать выводы о развитии повреждений сооружений.

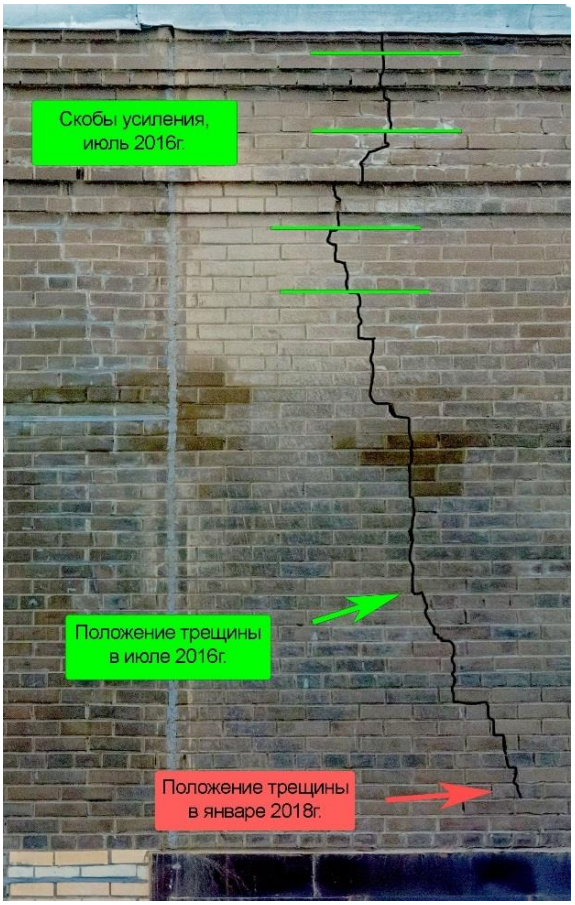

Рисунок 29. Результат мониторинга за развитием трещины в стене жилого здания

Рисунок 30. Наблюдение за проблемным участком кирпичной кладки жилого здания

Вопрос применения фотограмметрии для точного наблюдения за относительно малыми деформациями, такими как крены и отклонения, по мнению авторов, на данный момент не является решенным. Для получения достоверных данных о деформациях зданий, особенно таких, как прогибы горизонтальных несущих конструкций, крены вертикальных сооружений, выпучивания и неровности стен требуется существенно увеличить детализацию на всех этапах процесса. Точные фотограмметрические вычисления с применением калиброванных камер, множество ракурсов съемки, крупные фотографии в большом количестве - все это создаст крупный объем данных, для обработки которых понадобятся дорогие ресурсы и длительное время. Вместе с тем, велик риск недостоверной обработки и, как следствие, неверных значений отклонений и деформаций. Для решения данных задач разумнее использовать средства инженерной геодезии, такие как тахеометр и лазерный сканер.

3.2. Границы применения и проблемы метода

Описанная технология является сравнительно новым и новаторским способом обследования зданий и сооружений. Авторы статьи постарались выявить и описать ключевые проблемы при использовании данного метода. Несмотря на постоянное совершенствование приборов, инструментов и компьютерных программ, недостатки обнаружены на всех этапах процесса.

3.2.1. Проблемы полетов на БПЛА

Применение беспилотных летательных аппаратов предполагает высокую квалификацию наземного пилота, в сочетании с ловкостью, находчивостью и накопленным опытом. Сам по себе полет квадрокоптера является рискованным предприятием по таким критериям, как:

1. Риск падения и повреждения летательного аппарата.
2. Риск повреждения окружающего имущества, а также травм людей и животных.
3. Негативное толкование процесса полета и съемки прохожими или жильцами обследуемого здания (реакция неподготовленных людей может варьироваться от праздного интереса до резкого вмешательства в процесс работ).

Важнейшим фактором для полетов являются погодные условия, в особенности атмосферные осадки и ветер. Рекомендуется запускать аппарат только при слабом ветре и в отсутствие дождя, снега и тумана. Серьёзными препятствиями для воздушной съемки могут стать окружающие помехи, такие как деревья, провода или тросы, а также птицы. Высокий шанс столкновения с этими объектами сохраняется даже у тех БПЛА, которые оборудованы датчиками обнаружения препятствий на расстоянии. Такие датчики, зачастую, не способны уловить перечисленные помехи.

Значительную группу проблем для управления представляют собой неполадки, вызванные ухудшением радиосвязи между пультом управления и летательным аппаратом. Такое воздействие могут оказать помехи от антенн любых видов связи, таких как GSM и Wi-Fi, особенно на частотах, близких к частотам радиосвязи БПЛА. Общая загруженность эфира наблюдается зачастую именно в тех местах, которые подвергаются обследованию: многоквартирные дома, мачты, вышки и иные подобные объекты. Особое внимание следует уделить помехам, вызванным специальными устройствами для предотвращения полетов беспилотных аппаратов в особых зонах. Так, с каждым днем увеличивается количество районов с действующими «глушилками» или средствами для подмены GPS-координат. Эти устройства негативно влияют не только на связь дрона с оператором, но и на сам процесс его полета и ориентирования в воздушном пространстве. В зависимости от сложившейся ситуации, возможно неконтролируемое поведение аппарата, вплоть до улета или падения, приводящее к полной его утрате. Подобные устройства все чаще встречаются в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и многих других регионах, а также вблизи особых объектов, таких как аэропорты, стратегические сооружения, воинские части и правительственные здания.

Согласно действующим законам, запуск и съемка с беспилотного летательного аппарата возможны только при условии его надлежащей регистрации и получения разрешения на полет в нескольких инстанциях, таких как МВД, местная администрация и Зональный центр ЕС ОрВД, но не ограничиваясь ими. Массовые случаи негативного использования таких летательных аппаратов приводят к тому, что с каждым днем происходит ужесточение норм, регламентирующих полеты беспилотных воздушных судов. Существующая ситуация серьезно осложняет процесс получения разрешения на легальное использование БПЛА в Российской Федерации для законопослушных граждан, применяющих технику в профессиональных целях. Даже имея на руках разрешение на полет, пилот может столкнуться с проблемами, описанными в предыдущем абзаце, и понести убытки.

3.2.2. Требования к съемке фотографий

Что касается условий фотосъемки объектов, то для получения качественных снимков требуется соблюсти следующие условия:

1. Отсутствие брака на снимках, не допускаются ошибки экспозиции, а также смазы. Необходимо использовать короткую выдержку.
2. Широкий угол объектива призван захватить в кадр обширную зону объекта. Разрешение снимка также является ключевым параметром. Для высокой детализации применяется как можно большее разрешение.

3. Обязательно использовать камеру, обеспечивающую большую глубину резкости. Фотографируемая поверхность должна получиться четкой и детализованной, недопустим промах фокусировки.
4. Съемку для фотограмметрической обработки необходимо вести с большим перекрытием соседних фотографий.
5. Съемка ведется в светлое время суток. Нежелательно вести съемку в условиях яркого солнечного дня, так как наблюдается сильный перепад яркости между освещенными и теневыми участками фасада. Наилучшее освещение объекта достигается в светлую пасмурную погоду, когда здание равномерно освещено рассеянным светом. Общее качество съемки камеры должно обеспечивать отсутствие цифровых шумов на снимке. Данное условие затрудняет такую съемку в регионах с коротким световым днем.

3.2.3. Нюансы фотограмметрической обработки

Алгоритм реконструкции трехмерных объектов по фотографиям лучше всего работает с цельными, непрозрачными конструкциями, такими как стены, крыши, перекрытия и колонны зданий, промышленные объекты цилиндрической или прямоугольной формы. Трудности возникают при обработке таких объектов, где между основными контурами конструкций на заднем плане виден фон. Такими конструкциями являются перила лестниц, различные ограждения, металлические каркасы и фермы и иные подобные сооружения. Особым случаем являются отражающие и прозрачные поверхности. Оконные стекла, витражи и прочие поверхности с эффектом отражения, такие как металлические листы практически невозможно построить в трехмерном виде, так как под разными ракурсами на фотографиях отображается абсолютно разные отражения, и программа не может найти общие точки.

Фототриангуляция и построение моделей являются ресурсоемкими вычислениями и требуют мощный персональный компьютер для удобной работы с программой. Данные могут обрабатываться с привлечением мощностей нескольких машин, а также на суперкомпьютерах. Однако, модели со средней детализацией могут быть получены и на любительских системах, при этом время обработки будет значительным.

Вычисления в программе Agisoft Photoscan производятся на компьютерах, имеющихся в распоряжении специалистов по обследованию. Для обеспечения быстрого выполнения большого объема работ потребуются вложения в компьютерную технику. Некоторые другие программы производят обработку силами сторонних, удаленных вычислительных машин, принадлежащих разработчику программы, так называемым «облачным» сервисом. Однако в этом случае, зачастую, клиент может столкнуться как с ожиданием в очереди на обработку, так и с ограничениями на количество загружаемых данных и скорость отправки.

Мощный компьютер нужен не только на этапе фотограметрических вычислений. Работа с ортофотопланами, имеющими большое разрешение, становится трудновыполнимой на устаревших ПК. Визуализация сложной виртуальной модели с большой детализацией также требует запаса мощности. Несмотря на эти условия, фактическая сумма инвестиций для самостоятельной работы организации с беспилотным летательным аппаратом и быстрой фотограмметрической обработкой на собственных ресурсах оценивается авторами как приемлемая в сравнении со среднестатистической прибылью в сфере обследования зданий и сооружений.

4. Заключение

Целью данной статьи являлось доказать применимость метода фотограмметрии при использовании в обследовании зданий и сооружений, а также в строительном контроле. В рамках поставленной цели:

- Рассмотрена аэросъемка с беспилотного летательного аппарата как способ визуального обследования и фотофиксации высотных сооружений;

- Показано применение результатов аэросъемки в сочетании с фотограмметрической обработкой для таких видов работ, как визуальное обследование зданий, обмеры конструкций, наблюдение за строительным процессом, контроль выполненных работ, мониторинг за состоянием сооружения;

- Выявлены и описаны достоинства и недостатки фотограмметрии на примере реальных объектов.

В результате проведения исследования сделаны следующие выводы:

1. Анализ практических результатов применения метода аэросъемки с помощью БПЛА с последующей обработкой результатов фотограмметрии показал несомненные преимущества данного метода по сравнению с традиционными методами обследования и строительного контроля фасадов. В частности, облет здания и съемка с воздуха позволяют осмотреть недоступные участки, а систематизация отснятого материала дает новые возможности при выявлении дефектов и повреждений. При качественно выполненной съемке и обработке с высокой детализацией можно получить результаты, достаточные для большинства задач в обследовании фасадов.
2. Приведенные в статье практические результаты использования данного метода строительного контроля позволяют говорить о том, что с помощью фотограмметрии можно получить результаты, пригодные как для обмеров здания с высокой точностью, так и для проверки строительных работ.
3. Установлено, что вопрос применения фотограмметрии для точного наблюдения за относительно малыми деформациями, такими как крены и отклонения, по мнению авторов, на данный момент не является решенным. Для получения достоверных данных о деформациях зданий, особенно таких, как прогибы горизонтальных несущих конструкций, крены вертикальных сооружений, выпучивания и неровности стен требуется существенно увеличить детализацию на всех этапах процесса. Точные фотограмметрические вычисления с применением калиброванных камер, множество ракурсов съемки, крупные фотографии в большом количестве создаст крупный объем данных, для обработки которых понадобятся дорогие ресурсы и длительное время. Вместе с тем, велик риск недостоверной обработки и, как следствие, неверных значений отклонений и деформаций. Для решения данных задач разумнее использовать средства инженерной геодезии, такие как тахеометр и лазерный сканер.
4. Описанная технология является сравнительно новым и новаторским способом обследования зданий и сооружений. Рассмотренная методика является современной и актуальной в сфере строительного контроля, а также качественно расширяет арсенал специалистов по обследованию и надзору за строительством.

Литература

[1]. Шубина М.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки в целях картографирования наземных объектов // Информационные системы и технологии: теория и практика. Сб. науч. тр. вып. 7. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2015. С. 64-79.

[2]. Знаменский М. С., Калугин А. И. Лазерная система оперативного картографирования на базе беспилотного летательного аппарата // Приборостроение в XXI веке - 2016. Интеграция науки, образования и производства. Сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. Ижевск.: Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017. С. 588-592.

[3]. Курков В.М., Бляхарский Д.П., Флоринский И.В Применение беспилотной аэрофотосъемки для геоморфометрического модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. №6. С. 69-77.

[4]. Зволинский В. П., Бакулин Д. А., Гуц А. А., Писарев Д. В. Экологический мониторинг с использованием сверхлёгких летательных аппаратов для нужд народного хозяйства // Мониторинг. Наука и технологии. 2011. № 4. С. 53-66.

[5]. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – Current Status and Future Perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2011. № XXXVIII-1/C22. pp. 25–31.

[6]. James S. Aber, Irene Marzolff and Johannes B. Ries Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications. 2010. 266 p.

[7]. Sebastian Siebert, Jochen Teizer (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction. 2014. № 41. pp. 1-14.

[8]. O. Tziavou, S. Pytharouli, J. Souter (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. Engineering Geology. 2018. № 232. pp. 12-21.

[9]. Студеникин А.В., Михалин В.А., Иванов Р.В., Магаршак С.И. Практика применения перспективных беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и аэрофотосъемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Том 9. № 4. С. 102-106.

[10]. J. Unger, M. Reich, C. Heipke UAV-based photogrammetry: monitoring of a building zone (2014). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. № XL-5. pp. 601-606.

[11]. Ramazan Cuneyt Erenoglu, Ozgun Akcay, Oya Erenoglu An UAS-assisted multi-sensor approach for 3D modeling and reconstruction of cultural heritage site (2017). Journal of Cultural Heritage. 2017. № 26. pp. 79-90.

[12]. Tesse D. Stek Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy) (2016). Journal of Cultural Heritage. 2016. № 22. pp. 1066-1071.

[13]. John McCarthy Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement (2014). Journal of Archaeological Science. 2014. № 43. pp. 175-185.

[14]. Javier Fernández-Lozano, Gabriel Gutiérrez-Alonso Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain) (2016). Journal of Archaeological Science: Reports. 2016. № 5. pp. 509-520.

[15]. Быков Л.В., Быков А.Л., Лашов М.В., Татаурова Л.В. Геодезическое обеспечение археологических исследований // Вестник Омского университета. 2012. № 3 (65). С. 85-93.

[16]. Тюрин С. В., Тихонов С.Г. Сочетание методов трехмерного лазерного сканирования и цифровой фотограмметрической съемки для фиксации и обмера памятников архитектуры // Инженерно-строительный журнал.2010. № 7. С. 25-30.

[17]. Курков В.М., Перес Вальдез Мануэль Де Хесус, Бляхарский Д.П. Создание трехмерных моделей объектов памятников исторического и культурного наследия с использованием беспилотных летательных аппаратов самолетного и мультироторного типов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 2. С. 94-99.

[18]. Мельникова О. Г., Олейников П. П. Информационное моделирование зданий: опыт реконструкции памятников культурного наследия // Социология города. 2013. № 4. С. 72-80

[19]. Алексеева А.С., Тышкевич А.В. Применение метода цифровой фотограмметрии как средства моделирования в обследовании и реконструкции памятников архитектуры // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. Материалы 15-ой международной научно-практической конференции. Новочеркасск.: Изд-во: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2015 С. 3-8.

[20]. Улыбин А. В., Ватин Н. И. Качество визуального обследования зданий и сооружений и методика его выполнения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 10 (25). С. 134-146.

[21]. Туккия А.Л., Мамонов А.О. Опыт использования квадрокоптеров для обследования зданий и сооружений // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 109-116.

[22]. Mark C. Tatuma, Junshan Liu Unmanned aircraft system applications in construction (2017). Procedia Engineering. 2017. № 196. pp. 167-175.

[23]. Варфоломеев А.Ф., Стешин И.С. Особенности создания крупномасштабных цифровых ортофотопланов с использованием беспилотных летательных аппаратов // XLV ОГАРЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ Материалы научной конференции. В 3-х частях. Саранск.: Изд-во: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. С. 140-144.

[24]. Дворецкий Е.М., Замалиев Ф.Ф., Козин Е.В., Симонов Ю.Н. Сравнительный анализ создания цифрового ортофотоплана с использованием программного комплекса Agisoft Photoscan и цифровой фотограмметрической станции Фотомод // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013. № 639. С. 124-128.

[25]. Иноземцев Д. П. Автоматизированная аэрофотосъёмка с помощью программно-аппаратного комплекса «Geoscan-Photoscan» // САПР И ГИС автомобильных дорог. 2014. № 1 (2). С. 46-51.

[26]. Матвеев Р. А., Клочков Д. П., Стефаненко И. В., Куранов Д. В. Современные способы операционного контроля качества строительно-монтажных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 53-68.

[27]. Schaefer W. Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverform ungen (1985). Markscheidewesen. 1985. Vol. 92. №. 4. pp. 148-151.

[28]. Bujakiewicz A., Majde A., Przadka Z. Photogrammetric measurement of deformations of the industrial halls (1984). Int. Arch. Photogr. and Remote Sensing.1984. Vol. 25. №. 15. pp. 136-140.

[29]. Miller Z. Zastosowanie fotogrametrii do celow inzynierskich (1987). Prz. bud. 1987. Vol. 59. №. 5. pp. 200-203, 231-232.

[30]. Sobolevskyi R.V., Levytskyi V.H, Shlapak V.O Evaluation of Accuracy of Photogrammetric Methods and Laser Scanning for Measuring of Parameters of Cracks Natural Separateness (2016). Вісник Житомирського Державного Технологічного університету. Серія: технічні науки. 2016. № 1 (76). pp. 158-164.

[31]. Dias-da-Costa D., Valenca J. and Eduardo N.B.S. Julio Laboratorial test monitoring applying photogrammetric post-processing procedures to surface displacements (2011). Measurement. 2011. Vol. 44. Issue 3. pp. 527–538.

[32]. Inkyu Sa, Peter Corke Vertical infrastructure inspection using a quadcopter and shared autonomy control (2014).Field and Service Robotics: Results of the 8th International Conference. 2014. pp. 219-232.

Building inspection of buildings and structures by means of multicopters and photogrammetry

V.V. Korenev [1], N.S. Orlova [2]*, A.V. Ulybin [3], S.D. Fedotov [4]

[1,4] *LLC "OZIS-Venture", 4/1 Vavilovyh St., St. Petersburg, Russia, 195257*

[2,3] *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia*

Article info

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.65.3

Article history

Received 12.03.2018

Keywords

Building inspection;
photogrammetry;
orthophoto;
facades;
quadcopter;
aerial surveying;
measuring works;

ABSTRACT

The article presents the method of visual inspection and control of buildings and constructions by means of aerial photograph from the unmanned aerial vehicle. Constant improvement of programs for photogrammetric processing seriously expands possibilities of this method and allows apply it in various ways. The purpose of the article is to prove the applicability of the method of photogrammetry in a survey of buildings and structures, as well as in construction control. Aerial photograph and creation of virtual three-dimensional model of buildings and structures finds application in many stages of construction, repair and reconstruction of buildings. Flight of the building and shooting from air allow examining inaccessible sites, and systematization of the finished shooting material gives new opportunities at identification of defects and damages. Besides, periodical continuous shooting of a construction can be useful at long monitoring of his state. The practical results of using this method of construction control given in the article make it possible to say that photogrammetric allows to receive the results suitable as for measurements of the building with high precision, and for check of construction works. The considered technique is modern and relevant in the sphere of construction control and also qualitatively expands an arsenal of specialists in inspection and supervision of construction.

Contact information:

1 +7(906)2296153, eddiecleveland@mail.ru (Valeriy Korenev, Engineer)
2* +7(911)1637749, orlova.ns@edu.spbstu.ru (Nina Orlova, Student)
3 +7(921)7774516, ulybin@mail.ru (Aleksey Ulybin, Ph.D., Associate Professor)
4 +7(911)9167802, fed87@mail.ru (Sergey Fedotov, Chief Engineer)

Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д., Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии / Korenev V.V., Orlova N.S., Ulybin A.V., Fedotov S.D., Building inspection of buildings and structures by means of multicopters and photogrammetry ©

References

[1]. Shubina M.A. Ispolzovanie bespilotnyh letatelnykh apparatov dlya aehrofotosyemki v celyah kartografirovaniya nazemnyh obyektov // Informacionnye sistemy i tekhnologii: teoriya i praktika [Informational systems and technologies: science and practice]. Sb. nauch. tr. vyp. 7. Saint-Petersburg.: Izd-vo SPbGLTU, 2015. Pp. 64-79. (rus)

[2]. Znamenskij M. S., Kalugin A. I. Lazernaya sistema operativnogo kartografirovaniya na baze bespilotnogo letatel'nogo apparata // Priborostroenie v XXI veke - 2016. Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva [The laser system operative mapping on the basis of an unmanned aerial vehicle] Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Izhevsk.: Izd-vo IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova, 2017. Pp. 588-592. (rus)

[3]. Kurkov V.M., Bliakharskii D.P., Florinsky I.V Primenenie bespilotnoj aehrofotosyemki dlya geomorfometricheskogo modeli [Application of unmanned aerial surveying for geomorphometric modelling]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aehrofotosyemka. 2016. No. 6. Pp. 69-77. (rus)

[4]. Zvolinskii V. P., Bakulin D. A., Guc A. A., Pisarev D. V. Ekologicheskij monitoring s ispolzovaniem sverhlyogkih letatelnyh apparatov dlya nuzhd narodnogo hozyajstva [Environmental monitoring using the super light aircrafts for needs of economy]. Monitoring. Nauka i tekhnologii. 2011. No. 4. Pp. 53-66. (rus)

[5]. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – Current Status and Future Perspectives. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2011. No XXXVIII-1/C22. Pp. 25–31.

[6]. James S. Aber, Irene Marzolff and Johannes B. Ries Small-Format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications. 2010. 266 p.

[7]. Sebastian Siebert, Jochen Teizer (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction. 2014. No. 41. Pp. 1-14.

[8]. O. Tziavou, S. Pytharouli, J. Souter (2018). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. Engineering Geology. 2018. No. 232. Pp. 12-21.

[9]. Studenikin A.V., Mikhalin V.A., Ivanov R.V., Magarshak S.I. Praktika primeneniya perspektivnyh bespilotnyh letatelnykh apparatov dlya monitoringa i aehrofotosyemki [The practice of advanced unmanned aerial vehicles for monitoring and aerial photography]. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. Tom 9. No. 4. Pp. 102-106. (rus)

[10]. J. Unger, M. Reich, C. Heipke UAV-based photogrammetry: monitoring of a building zone (2014). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2014. No. XL-5. Pp. 601-606.

[11]. Ramazan Cuneyt Erenoglu, Ozgun Akcay, Oya Erenoglu An UAS-assisted multi-sensor approach for 3D modeling and reconstruction of cultural heritage site (2017). Journal of Cultural Heritage. 2017. No. 26. Pp. 79-90.

[12]. Tesse D. Stek Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy) (2016). Journal of Cultural Heritage. 2016. No. 22. Pp. 1066-1071.

[13]. John McCarthy Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement (2014). Journal of Archaeological Science. 2014. No. 43. Pp. 175-185.

[14]. Javier Fernández-Lozano, Gabriel Gutiérrez-Alonso Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain) (2016). Journal of Archaeological Science: Reports. 2016. No. 5. Pp. 509-520.

[15]. Bykov L.V., Bykov A.L., Lashov M.V., Tataurova L.V. Geodezicheskoe obespechenie arheologicheskih issledovaniy [Geodetic support of archaeological research]. Vestnik Omskogo universiteta. 2012. No. 3 (65). Pp. 85-93. (rus)

[16]. Tyurin S. V., Tihonov S.G. Sochetanie metodov trekhmernogo lazernogo skanirovaniya i cifrovoj fotogrammetricheskoj s"emki dlya fiksacii i obmera pamyatnikov arhitektury [Combination of methods of three-dimensional laser scanning and digital photogrammetric survey for fixation and measurement of monuments of architecture]. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 7. Pp. 25-30. (rus)

[17]. Kurkov V.M., Peres Val'dez Manuehl De Hesus, Blyaharskij D.P. Sozdanie trekhmernyh modelej obyektov pamyatnikov istoricheskogo i kulturnogo naslediya s ispolzovaniem bespilotnyh letatelnyh apparatov samoletnogo i multirotornogo tipov [Creation of three-dimensional models of historical and cultural heritage monuments using unmanned aerial and multi-rotor aircraft]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aehrofotosyemka. 2016. No. 2. Pp. 94-99. (rus)

[18]. Melnikova O. G., Oleynikov P. P. Informacionnoe modelirovanie zdanij: opyt rekonstrukcii pamyatnikov kulturnogo naslediya [Information modeling of buildings: experience of reconstruction of monuments of cultural heritage]. Sociologiya goroda. 2013. No. 4. Pp. 72-80 (rus)

[19]. Alekseeva A.S., Tyshkevich A.V. Primenenie metoda cifrovoj fotogrammetrii kak sredstva modelirovaniya v obsledovanii i rekonstrukcii pamyatnikov arhitektury // Informacionnye tekhnologii v obsledovanii ehkspluatiruemyh zdanij i sooruzhenij

[Informational technologies in surveying of operated buildings and structures]. Materialy 15-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Novocherkassk.: Izd-vo: YUzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 2015. Pp. 3-8. (rus)

[20]. Ulybin A. V., Vatin N. I. Kachestvo vizualnogo obsledovaniya zdanij i sooruzhenij i metodika ego vypolneniya [The quality of the visual inspection of buildings and structures, and the method of its execution]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 10 (25). Pp. 134-146. (rus)

[21]. Tukkiya A.L., Mamonov A.O. Opyt ispolzovaniya kvadrokopterov dlya obsledovaniya zdanij i sooruzhenij [Experience of using quadcopters for inspection of buildings and structures]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. No. 3 (62). Pp. 109-116. (rus)

[22]. Mark C. Tatuma, Junshan Liu Unmanned aircraft system applications in construction (2017). Procedia Engineering. 2017. No. 196. Pp. 167-175.

[23]. Varfolomeev A.F., Steshin I.S. Osobennosti sozdaniya krupnomasshtabnyh cifrovyh ortofotoplanov s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyhapparatov [Features of creating of large-scale digital orthophotoplanes by unnamed aerial vehicles]. XLV OGARYOVSKIE CHTENIYA Materialy nauchnoj konferencii. V 3-h chastyah. Saransk.: Izd-vo: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogaryova, 2017. Pp. 140-144. (rus)

[24]. Dvoreckij E.M., Zamaliev F.F., Kozin E.V., Simonov YU.N. Sravnitelnyj analiz sozdaniya cifrovogo ortofotoplana s ispolzovaniem programmnogo kompleksa Agisoft Photoscan i cifrovoj fotogrammetricheskoj stancii Fotomod [Comparative analysis of the creation of a digital orthophotoplan by using the Agisoft Photoscan software and a digital photogrammetric station Photomod]. Trudy Voenno-kosmicheskoj akademii im. A.F. Mozhajskogo. 2013. No. 639. Pp. 124-128. (rus)

[25]. Inozemcev D. P. Avtomatizirovannaya aehrofotosyomka s pomoshchyu programmno-apparatnogo kompleksa «Geoscan-Photoscan» [Automated aerophotography with the software equipment complex «Geossan-Photosan»]. SAPR I GIS avtomobilnyh dorog. 2014. No. 1 (2). Pp. 46-51. (rus)

[26]. Matveev R. A., Klochkov D. P., Stefanenko I. V., Kuranov D. V. Sovremennye sposoby operacionnogo kontrolya kachestva stroitelno-montazhnyh rabot [Modern ways of operational control]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitelnogo universiteta. Seriya: stroitelstvo i arhitektura. 2017. No. 49 (68). Pp. 53-68. (rus)

[27]. Schaefer W. Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverform ungen (1985). Markscheidewesen. 1985. Vol. 92. No. 4. Pp. 148-151.

[28]. Bujakiewicz A., Majde A., Przadka Z. Photogrammetric measurement of deformations of the industrial halls (1984). Int. Arch. Photogr. and Remote Sensing.1984. Vol. 25. No. 15. Pp. 136-140.

[29]. Miller Z. Zastosowanie fotogrametrii do celow inzynierskich (1987). Prz. bud. 1987. Vol. 59. No. 5. Pp. 200-203, 231-232.

[30]. Sobolevskyi R.V., Levytskyi V.H, Shlapak V.O Evaluation of Accuracy of Photogrammetric Methods and Laser Scanning for Measuring of Parameters of Cracks Natural Separateness (2016). Visnik ZHitomirs'kogo Derzhavnogo Tekhnologichnogo universitetu. Seriya: tekhnichni nauki. 2016. No 1 (76). Pp. 158-164. (rus)

[31]. Dias-da-Costa D., Valenca J. and Eduardo N.B.S. Julio Laboratorial test monitoring applying photogrammetric post-processing procedures to surface displacements (2011). Measurement. 2011. Vol. 44. Issue 3. Pp. 527–538.

[32]. Inkyu Sa, Peter Corke Vertical infrastructure inspection using a quadcopter and shared autonomy control (2014).Field and Service Robotics: Results of the 8th International Conference. 2014. Pp. 219-232.

Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д., Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2018, №2(65). С.40-58.

Korenev V.V., Orlova N.S., Ulybin A.V., Fedotov S.D., Building inspection of buildings and structures by means of multicopters and photogrammetry, Construction of Unique Buildings and Structures. 2018. 2(65). Pp. 40-58. (rus)