

**УДК 004.35**

**Мельчаков Алексей Николаевич**, студент, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Москва

e-mail: [amelchakov-23@edu.ranepa.ru](mailto:amelchakov-23@edu.ranepa.ru)

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

**Аннотация.** Устойчивое развитие России возможно при широком внедрении современных достижений цифровых технологий. Транспортная сфера в части цифровизации дорожного хозяйства и внедрения высокоавтоматизированных транспортных средств способна совершить качественный прорыв при выполнении цифровой трансформации. Одной из составляющих цифровизации дорожного хозяйства является цифровая модель автомобильной дороги. В статье рассмотрены особенности применения беспилотных летательных аппаратов для создания цифровой модели городской улично-дорожной сети. В работе указаны требования к техническому оснащению БПЛА с целью обеспечения полноты сбора данных. Указаны основные этапы и процедуры формирования цифровой модели дороги с помощью дронов. В заключение указаны преимущества и недостатки применения БПЛА, которые оказывают влияние при выборе способа получения информации.

**Annotation.** Sustainable development of Russia is possible with the widespread introduction of modern achievements of digital technologies. The transport sector in terms of digitalization of road facilities and the introduction of highly automated vehicles is capable of making a qualitative breakthrough in the implementation of digital transformation. One of the components of digitalization of road facilities is a digital model of the road. The article discusses the features of using unmanned aerial vehicles to create a digital model of the urban street and road

network. The work specifies the requirements for the technical equipment of UAVs in order to ensure the completeness of data collection. The main stages and procedures for forming a digital model of the road using drones are indicated. In conclusion, the advantages and disadvantages of using UAVs are indicated, which affect the choice of the method of obtaining information.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат (БПЛА), картографическая аэрофотосъемка, 3D-модель, улично-дорожная сеть

**Keywords:** unmanned aerial vehicle (UAV), aerial mapping, 3D model, road network

### **Введение**

Сегодня главной движущей силой социально-экономического развития становятся информационные технологии. Инновационные способы сбора и анализа данных постепенно занимают место устоявшихся механизмов управления городом [1].

Одним из элементов жизнедеятельности города является улично-дорожная сеть, которая требует внедрения цифровизации исходя из потребностей ближайшего будущего. В качестве одного из этапов цифровизации транспортной сферы города выступает процесс создания цифровых моделей городских дорог. Полученные в результате цифровые модели в дальнейшем становятся основой для создания цифровых двойников городских улиц, которые, в свою очередь можно применять в различных городских информационных сервисах, таких как интеллектуальные транспортные системы, системы контроля коммунальных служб и т.д.

Проблема создания цифровых моделей также является необходимым условием для реализации некоторых нормативных актов, утвержденных в последнее время.

Во-первых, «Концепция обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 марта 2020 г. N 724-р.

В этой концепции указываются пять уровней автоматизации транспортных средств:

1. Автоматизированная система осуществляет управление положением автомобиля в продольной либо в поперечной плоскости. Контроль транспортного средства осуществляет водитель.
2. Автоматизированная система осуществляет управление положением транспорта как в продольной, так и в поперечной плоскости. Контроль автомобиля со стороны водителя необходим по причине отсутствия возможности автоматизированной системы обнаружить все ситуации в пределах дороги. Водитель должен контролировать движение автомобиля параллельно с цифровой системой.
3. Автоматизированная система вождения способна справиться со всеми задачами динамического управления автомобилем в пределах своего пути следования или, в противном случае, передаст управление водителю с достаточным временем упреждения (водитель должен быть готов перенять управление). Автоматическая система осуществляет управление транспортом и мониторинг окружающей ситуации в рамках конкретной дороги. Система осуществляет мониторинг пределов возможностей и, если достигнут их уровень, подает сигнал о передаче управления водителю.
4. Автоматическая система способна справиться с любыми ситуациями в пределах пути следования (не требуя у водителя перенять управление). Водитель может не потребоваться в отдельных сценариях использования транспорта, например, в случае беспилотной парковки или автобуса вне дорог общего пользования. Однако система управления может запросить у водителя переключение на ручное управление, если достигнуты граничные значения пути (например, при съезде с автомагистрали).
5. Автоматическая система способна справиться с любыми ситуациями на всех типах дорог, во всех диапазонах скоростей и условиях окружающей среды. Необходимости в водителе нет.

Для обеспечения автоматизации управления, автомобиль, оборудованные автоматической системой управления, использует данные, поступающие от набора различных сенсоров: камеры видимого спектра, тепловизионные видеокамеры, приёмники спутниковой навигации, лазерные и радиолокационные детекторы.

Во время полностью автоматического движения автомобиль вынужден обрабатывать значительный поток данных, для чего на борту размещается мощный сервер с высоконагруженным программным обеспечением.

При движении в городской черте нагрузка на систему сенсоров является чрезвычайно высокой: дорожные знаки, светофорные объекты, пешеходы, соседние транспортные средства. Для соблюдения ограничений движения, установленных проектом организации дорожного движения, видеокамеры транспортного средства должны анализировать дорожные знаки. В реальных условиях эта задача становится довольно сложной, так как дорожные знаки могут быть подвержены повреждениям из-за погодных условий (например, закрыты мокрым снегом), преждевременного износа или актов вандализма.

В 2018-2019 годах в России проводился технологический конкурс Ur Great «Зимний город», в котором участвовали различные команды со своими моделями автомобилями. В результате выполнения конкурсных заданий выяснилось, что системы машинного зрения, применяемые в машинах с автопилотом, выдают некорректные команды при обнаружении дорожных знаков на примыкающих дорогах и соседних полосах движения.

Также, в результате различных экспериментов, проведенных энтузиастами, удалось выяснить, что видеокамеры транспорта не реагируют на дорожные знаки, если на них нанесены посторонние наклейки и возможны ложные срабатывания на рекламные материалы, размещенные около автомобильной дороги.

Применение цифровой модели улицы сможет обеспечить аппаратно-программный комплекс транспортного средства точными данными о расположении прилегающих и инфраструктурных объектов. Цифровая карта

высокого разрешения, полученная путём непосредственного сканирования дороги, позволит снизить частоту ошибок алгоритмов управления транспортным средством и повысит точность распознавания объектов дорожной инфраструктуры. В случае реализации в аппаратно-программном комплексе автомобиля алгоритмов сверки показаний сенсоров с загруженной высокоточной цифровой модели дороги появляется возможность точного позиционирования автомобиля на дороге в случае неустойчивого сигнала спутниковой навигационной системы, что является актуальной проблемой на сегодняшний день.

Следующим нормативным актом, требующим применение цифровой модели, является Постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. N 331 "Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства". Данное постановление регламентирует формирование и ведение информационной модели объектов капитального строительства, в том числе и линейных объектов, к которым относятся в том числе и автомобильные дороги.

### **Материалы исследования**

Разработка цифровых моделей городских улиц представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода. Сегодня один из эффективных способов построения такой модели — применение высокоточной топографической съёмки совместно с актуальной информацией из специализированных информационных систем. Такой метод обеспечивает получение качественных исходных данных, гарантируя точность и надежность создаваемых моделей.

Популярность коммерческого использования беспилотных воздушных аппаратов (БПЛА) стремительно растет в последние годы благодаря их

высоким эксплуатационным характеристикам. Они позволяют оперативно проводить съемочные работы и обрабатывать полученные материалы при условии наличия необходимого оборудования и современного программного обеспечения. Кроме того, наблюдается активное внедрение дронов практически во всех областях хозяйственной деятельности. Что касается практического применения БПЛА в производственных процессах, успех здесь зависит не только от квалификации операторов, но также от уровня технической оснащенности, организации работ и соблюдения юридических норм.

Эксплуатация беспилотных систем оказывается намного проще и эффективнее по сравнению с традиционными дорожными лабораториями на автомобильной платформе, в том числе с экономической точки зрения. Но главным преимуществом перед традиционными дорожными лабораториями является то, что дроны могут получить данные с территории, прилегающей к дороге, которая остаётся недоступной при обычных методах сканирования.

Применение БПЛА значительно упрощает регулярные и оперативные процедуры по сбору необходимой информации. Современные высокоточные приборы делают дроны незаменимыми инструментами для проведения геодезических изысканий и сбора пространственных данных, необходимых для формирования геоинформационных систем (ГИС). Это играет ключевую роль в создании точных цифровых моделей местности. Совместная работа беспилотников и ГИС-технологий с высокой точностью обеспечивает воспроизведение реальных пространственных и качественных характеристик улично-дорожной сети.

При получении данных, необходимых для создания цифровой модели дороги, необходимо применять метод лазерного сканирования и фотограмметрический метод. Пример дрона, оснащенного необходимым оборудованием, изображён на рисунке 1.



Рис. 1. БПЛА Dji Matrice 300 RTK

Лазерное сканирование использует LiDAR (Light Identification Detection and Ranging – световое обнаружение и определение дальности), который позволяет создавать облако точек с высоким разрешением, но имеет ограничения при получении спектральных характеристик объектов.

Для получения пространственных и геометрических данных как самой дороги, так и прилегающей территории используется лидар с круговым обзором. Устройство включает в себя набор излучателей и приёмников, установленных на платформе, которая вращается со скоростью в несколько сотен оборотов в минуту. Плотность облака генерируемых точек позволяет построить полноценную картину местности, в которой видно другие машины, пешеходов, опоры и деревья на обочине, и даже дефекты дорожного покрытия или рельефную дорожную разметку. Результат работы лидара изображён на рисунке 2.

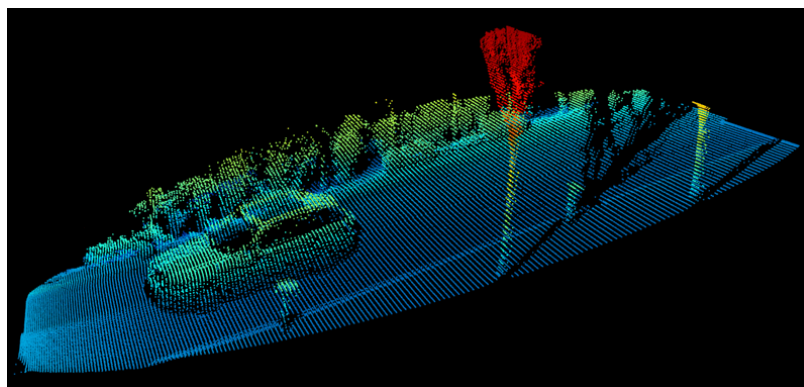


Рис. 2. Облако точек, полученное лидаром кругового обзора.

Метод фотограмметрии требует применения видеокамер видимого спектра высокого разрешения. Однако, точность такого метода в отрыве от применения лазерного сканирования может быть низкой в связи с невозможностью получить информацию из местности с низкой освещенностью.

Геодезическое обеспечение БПЛА является важнейшим элементом, обеспечивающим качество выполнения работ, связанных с построением цифровой модели местности. Оно гарантирует высокую точность позиционирования и ориентирование дрона в пространстве, обеспечивая получение качественных данных, необходимых для последующего анализа и принятия обоснованных решений.

Чтобы создать точную цифровую модель местности в кратчайшие сроки и с минимальными усилиями, целесообразно применять беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оборудованные системой кинематики реального времени (RTK). Эта технология позволяет определять координаты объектов непосредственно в процессе съемки с максимальной точностью. Основой данной технологии служит специальное устройство, состоящее из двух компонентов: GPS-приемника и радиопередатчика. Приемник принимает спутниковые сигналы и вычисляет текущее положение аппарата. Передатчик передает данные базовой станции, которая обрабатывает полученные сведения и направляет обработанные координаты обратно рабочим приемникам. Последние моментально фиксируют своё точное

местоположение, благодаря чему достигается высокая точность измерений [3]. Принцип работы такой аппаратуры изображён на рисунке 3.

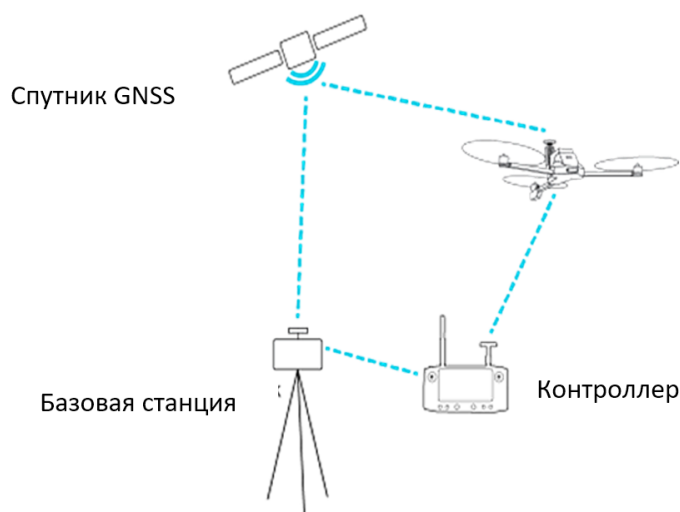


Рис. 3 Принципиальная схема RTK

Применение технологии RTK позволяет избежать ошибок формирования цифровой модели, которые возникают при работе по методу с использованием опорных точек.

В общем виде работу по созданию цифровой модели улично-дорожной сети можно разделить на следующие этапы:

1. Предварительный сбор данных по улично-дорожной сети.

Формирование требований к точности и номенклатуре требуемых данных, которые необходимо получить при помощи БПЛА. Предварительный расчёт временных и финансовых затрат. Выбор соответствующего типа БПЛА.

2. Планирование полётного задания БПЛА.

На данном этапе проводится планирование нахождения БПЛА в воздушном пространстве и составление расписания полётов. Проводится выбор необходимого оборудования.

3. Производство полётов.

Если БПЛА поддерживает работу в автоматическом режиме, то на данном этапе дроны совершают большинство функций самостоятельно.

Операторы лишь контролируют процесс выполнения полётных заданий и вмешиваются лишь при возникновении непредвиденных ситуаций.

#### 4. Обработка полученной информации.

После выполнения полётных заданий и передачи всего полученного массива данных в центр обработки данных, при помощи специальной компьютерной программы, например, российского программного обеспечения Agisoft Metashape, производится составление цифровой модели [5].

#### 5. Применение полученной цифровой модели.

Созданная при помощи специализированного программного обеспечения цифровая модель в дальнейшем может применяться в различных информационных системах, связанных с транспортной сферой и со сферой городского хозяйства.

### **Выводы.**

На основании данных, представленных в статье, можно утверждать, что применение БПЛА при построении цифровой модели улично-дорожной сети является эффективным и перспективным способом получения необходимых данных.

Но необходимо также отметить недостатки применения БПЛА для построения цифровой модели. Из-за особенностей способа сбора данных (полёт на значительной высоте над дорогой, до 50 метров), высока вероятность пропуска дефектов дорожного полотна и инфраструктурных объектов. Однако, такой недостаток относится в большей степени к задаче последующего мониторинга дорожной сети, а не формированию эталонной цифровой модели.

Также, по причине необходимости установки на БПЛА сложного и высокоточного оборудования, вырастает энергетическая и весовая нагрузка, что приводит к повышенному расходу энергии аккумуляторных батарей дрона. Этот фактор необходимо учитывать при планировании полётных заданий.

### **Список литературы**

1. Иванов Сергей Александрович, Никольская Ксения Юрьевна, Радченко Глеб Игоревич, Соколинский Леонид Борисович, Цымблер Михаил Леонидович КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГОРОДА // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-postroeniya-tsifrovogo-dvoynika-goroda> (дата обращения: 25.05.2025).

2. А. Е. Акимов, С. Н. Бондаренко, А. Н. Бодяков, А. В. Курлыкина К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ // Системные технологии. 2023. №4 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-sozdanii-tsifrovogo-dvoynika-dlya-stroitelstva-avtomobilnoy-dorogi> (дата обращения: 04.06.2025).

3. Тимофеев Е. Н., Севостьянов А. А., Сокольников А. В. Создание цифровой модели железнодорожного пути с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 1 (68). С. 73–82. DOI 10.52170/1815-9265\_2024\_68\_73.

4. Н.А. Пархоменко, К.В. Зятыков. Создание 3D модели участка автомобильной дороги с использованием беспилотных летательных аппаратов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2022. - № 2 (29) апрель -июнь - URL <http://e-journal.omgau.ru/images/issues/2022/2/01002.pdf> (дата обращения: 01.06.2025).

5. Инновационные технологии применения беспилотных летательных аппаратов для 3D-моделирования автомобильных дорог и объектов дорожной инфраструктуры / А. Е. Семенов, Н. Е. Кокодеева, А. В. Кочетков, Л. В. Янковский // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – Т. 1. – С. 470-478. – EDN TXLUVZ.

6. Сайт компании Agisoft [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agisoft.com/>.