

## Применение беспилотного комплекса для поиска и выявления дефектов при строительстве зданий и сооружений

С.С. Мурзилин<sup>1,2</sup>, Е.М. Вишторский<sup>1</sup>, К.А. Малышева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва

<sup>2</sup>РосСтройКонтроль, г. Москва

**Аннотация:** В статье рассматривается применение беспилотного комплекса для поиска и выявления дефектов при строительстве зданий и сооружений. Приведено применение беспилотных комплексов, интегрированных в практику для контроля качества строительных работ бетонных и стальных поверхностей, а также для регулярных инспекций зданий, изоляций или вентиляционных систем. Подтверждена перспективность использования беспилотных комплексов для проведения ремонтных работ, способствующая повышению показателей работы строительной организации.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, машинное зрение, программное обеспечение, БПЛА, беспилотный комплекс, обследование, дефект.

### Введение.

В условиях современной рыночной экономики качество и скорость выполнения работ являются важными факторами в строительстве. Вследствие этого современные подходы в организации строительства направлены на оптимизацию процессов с помощью цифровых и технических решений. Как показывает практика, использование инновационных подходов при возведении зданий и сооружений приводит к повышению показателей организации строительных процессов. Связано это со своевременным получением данных о состоянии работ на строительной площадке [1-3].

Современные тренды в области строительства внедрены не повсеместно, что является ключевой проблемой для инспекционного контроля, так как в большинстве случаев используются традиционные методы проверки качества конструктивных элементов, что сказывается на стоимости и времени выполнения работ [4].

Проблема повышения эффективности методов по выявлению нарушений на конструкциях зданий и сооружений является достаточно острой [5].

---



Рис. 1. – Модель зарубежного беспилотного летательного аппарата, используемого для выявления дефектов здания

Во-первых, несвоевременное выявление нарушений на конструкциях может привести к отставанию от графика строительно-монтажных работ либо, в крайнем случае, к аварийным ситуациям, так как внесение изменений в действующем проекте является неотъемлемым этапом строительства зданий и сооружений [6, 7].

Во-вторых, оптимизация процесса сбора и анализа данных сокращает время, а также может снизить затраты на оборудование и материалы. Также модернизация данных помогает более быстро и точно собирать нужную информацию и улучшить их анализ [8, 9].

В-третьих, применение инновационных технологий позволяет сократить трудозатраты, необходимые для проведения детального анализа состояния здания или сооружения на текущем этапе, что исключает возникновение несчастных случаев из-за перемещений специалистов по опасным участкам [10, 11]. На рис. 1 приведена модель зарубежного беспилотного летательного аппарата.

Целью исследования является внедрение беспилотного комплекса отечественного производства с искусственным интеллектом в

инспекционный контроль для выявления потенциальных нарушений на конструкциях зданий и сооружений.

### **Методы и материалы исследований.**

Для исследований дефектов при строительстве зданий и сооружений использовался отечественный беспилотный комплекс, приведенный на рис. 2.

Данный комплекс включает в себя следующие компоненты:

1) Программное обеспечение (далее ПО), разработанное с помощью специальных алгоритмов, с широким функционалом, например данное ПО способно на основе машинного зрения в процессе прохождения заранее заданного маршрута распознавать дефекты на здании;



Рис. 2. – Тестирование модели отечественного беспилотного летательного комплекса

2) Беспилотный аппарат, который может управляться вручную оператором с помощью специального пульта и приложения для отслеживания положения комплекса, либо проходить по заранее выстроенному маршруту. Примерами такого аппарата могут послужить квадрокоптеры, оснащённые защитными корпусами для защиты аппарата от внешних воздействий среды и иных факторов, а также роботизированные колёсные платформы, способные перемещаться даже в труднодоступных местах.

Использование беспилотного комплекса включает в себя следующие этапы:

- 1) создание рабочего проекта, маршрута и карты помещений;
- 2) облёт или прохождение заданного маршрута вручную, либо в автоматическом режиме;
- 3) экспорт и оценка полученных результатов;
- 4) передача готового отчёта соответствующим специалистам.

### **Результаты исследований.**

В начале работы на устройстве необходимо подключиться к аппарату и запустить соответствующее единое приложение по управлению. Далее внутри ПО создаётся рабочий проект, к которому будут относиться все полученные результаты. Вводится информация по объекту: название, этаж или расположение снимаемого участка, дата съёмки, данные об операторе. У выполняющего данную работу есть возможность редактировать проект, данные которого хранятся в памяти ПО мобильного приложения.

Программное обеспечение позволяет выполнить загрузку векторных представлений объекта контрольной съёмки, например, в виде фрагментов чертежей, для последующего построения маршрута обследования.



Рис. 3. – Процесс управления беспилотным летательным аппаратом

Оператором указывается приблизительное место старта аппарата, который следует по локальным координатам от точки к точке, и направление движения в первые нескольких секунд, после чего можно наблюдать за строящейся картой глубин относительно загруженной подложки. Полётное задание загружается на комплекс в поддерживаемом устройством формате. В зависимости от протяжённости и заданных скоростных характеристик прохождения маршрута автоматически вычисляется и выводится на дисплей устройства фактическое и предельно допустимое при текущем уровне заряда аккумулятора время выполнения задания. На рис. 3 приведен процесс управления беспилотным летательным аппаратом с помощью пульта и специального ПО.

У специалиста есть возможность переключать режим полёта с ручного на автоматический, выбирать карту и маршрут, ранее сохранённых на устройстве или загруженных перед запуском программы, указывать время остановки в контрольных точках, переходить в любой момент на ручное управление при ошибке навигации, завершать текущее задание и начинать новое.

В процессе облёта/прохождения заданного маршрута можно увидеть следующую информацию: обнаруженные дефекты различных видов (например, наличие полостей, трещин на поверхности бетона), степень повреждения и его фиксация плановые и высотные отклонения конструкций от проекта. На рис. 4 и рис. 5 показаны обнаруженные беспилотным комплексом дефекты строительных конструкций зданий.

После возврата системы на место пуска или в точку завершения маршрута должен скачиваться набор данных с камеры, лидара и сервисных файлов одним архивом. На выходе экспортируются следующие данные: облако точек, маршрут, файл маршрута с другого устройства, фото/видео материалы (к примеру, принудительно сделанные фотографии с привязкой к

---



локальной системе координат в формате EXIF или любом другом открытом формате).



Рис. 4. – Обнаружение различных дефектов в процессе облёта заданного маршрута (трещины, разрушение защитного слоя бетона)



Рис. 5. – Обнаружение различных дефектов в процессе облёта заданного маршрута (недостаточный защитный слой бетона)

На финальном этапе проводится оценка результатов, в случае необходимости, корректировка данных, а готовый вариант работы передаётся соответствующим структурным подразделениям для учёта в производственном процессе.

Программно-аппаратный комплекс можно эффективно применять для проверки качества бетонных (мостов, дамб, туннелей и других бетонных сооружений) и стальных (стыков, сварных соединений) конструкций, для регулярных инспекций зданий, изоляций или вентиляционных систем, для проведения ремонтных работ (фасадов зданий). На рис. 6 приведён пример применения беспилотного комплекса для инспекции труднодоступных мест зданий и сооружений.

Использование беспилотной техники, такой как квадрокоптеры и роботизированные колёсные платформы, позволяет проводить инспекции и мониторинг строительных объектов с высокой точностью, что помогает выявлять дефекты на ранних стадиях и предотвращать потенциальные аварии, тем повышая безопасность на строительных площадках.

Программно-аппаратные комплексы позволяют не только проводить инспекционный контроль на этапе строительства, но и осуществлять долговременный мониторинг состояния зданий после их ввода в эксплуатацию, что увеличивает срок службы зданий.



Рис. 6. – Инспекция железобетонных конструкций в ходе строительства

Цифровизация и применение беспилотных технологий способствуют более рациональному использованию ресурсов, снижению отходов и минимизации воздействия на окружающую среду.

Несмотря на большие преимущества использования инноваций, имеется ряд острых проблем, связанных с ними и требующих решений. Самая значимая проблема - утечка данных и риски кибератак, которые можно останавливать с помощью разработки дополнительных мер безопасности, что приводит к дополнительным вложениям средств и времени.

#### **Выводы:**

1) Автоматизация инспекционного процесса с помощью беспилотных комплексов с искусственным интеллектом позволяет уменьшить затраты на инспекцию и ремонт конструкций.

2) Такие модернизированные устройства могут собирать и анализировать большие объёмы данных, что позволяет обнаруживать даже мелкие дефекты и нарушения.

3) Внедрение данной инновации в инспекционный контроль позволяет создавать новые бизнес-модели, такие, как сервисное обслуживание и мониторинг конструкций.

#### **Литература**

1. Курченко Н. С. Мировые тренды технологий машинного обучения для исследования железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2024, № 9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461)

2. Евдокимова Т. С. Влияние методов расширения наборов данных на качество обучения нейросетевых моделей. Адаптивный подход расширения наборов данных // Инженерный вестник Дона, 2024, № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461)



3. Kang J.H, Park K.J, Kim H. Analysis of localization for drone-fleet. In Proceedings of the Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Republic of Korea, 28–30 October 2015; pp. 533–538. URL: [doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354604](https://doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354604).
  4. Иванов Д. С., Порядок применения мобильных роботов для обследования и мониторинга аварийных зданий в условиях чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. – 2013. – Т. 10, № 1(35). – С. 80-82. – EDN QСMKNV.
  5. Римшин В. И., Кучеренко В. А. Применение искусственного интеллекта при обследовании арматуры зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2024. – № 1(781). – С. 39-46. – DOI: 10.32683/0536-1052-2024-781-1-39-46. – EDN EYDGRW.
  6. Мишуренко Н. А., Семенов А. А. Применение технологии искусственного интеллекта в обследовании зданий и сооружений // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 132-137. – DOI 10.23968/ВІМАС.2024.018. – EDN VLLHGU.
  7. Грудинина Ж. А., Чунарева С. А., Климака М. С., Шарапов А. А. Применение технологий искусственного интеллекта при мониторинге состояния строительных конструкций зданий и сооружений // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 7, № 1. – С. 82-87. – EDN MYAZVW.
  8. Куйчиев О. Р., Применение методов искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации строительного проектирования и управления ресурсами // Universum: технические науки. – 2024. – № 4-4(121). – С. 67-69. – EDN DDWJWL.
-



9. Орлинская О. Г., Мартыновская А. С., Машинное зрение как область искусственного интеллекта // Устойчивое развитие: вызовы и перспективы - сборник материалов II Международного форума. - Ставрополь. - 2023. - С. 247-250. - EDN: OTURPC.
10. Седов Н. К., Тарасов А. А., Анализ современных решений, методов машинного обучения и искусственного интеллекта для планирования траекторий беспилотных летательных аппаратов // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации - сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции. - Пенза. - 2024. - С. 38-42. - EDN: SYQRZW.
11. Tychola K.A., Voulgaridis K, Lagkas T. Beyond Flight: Enhancing the Internet of Drones with Blockchain Technologies. Drones 2024, 8, P 219. URL: doi.org/ 10.3390/drones8060219. URL: mdpi.com/2504-446X/8/6/219.

### References

1. Kurchenko N. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461
2. Evdokimova T. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9461
3. Kang J.H, Park K.J, Kim H. Analysis of localization for drone-fleet. In Proceedings of the Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju Island, Republic of Korea, 28–30 October 2015; pp. 533–538. URL: doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354604.
4. Ivanov D. S. Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2013. T. 10, № 1(35). pp. 80-82. EDN QCMKNV.
5. Rimshin V. I., Kucherenko V. A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2024. № 1(781). pp. 39-46. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-781-1-39-46. – EDN EYDGRW.

6. Mishurenko N. A., Semenov A. A. Informacionnoe modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 15–17 maja 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2024. pp. 132-137. DOI 10.23968/BIMAC.2024.018. EDN VLLHGU.

7. Grudinina Zh. A., Chunareva S. A., Klimaka M. S., Sharapov A. A. Interjekspo Geo-Sibir'. 2024. T. 7, № 1. pp. 82-87. EDN MYAZVW.

8. Kujchiev O. R. Universum: tehicheskie nauki. 2024. № 4-4(121). pp. 67-69. EDN DDWJWL.

9. Orlinskaja O. G., Martynovskaja A. S. Ustojchivoe razvitie: vyzovy i perspektivy - sbornik materialov II Mezhdunarodnogo foruma. Stavropol'. 2023. p. 247-250. EDN: OTURPC.

10. Sedov N. K., Tarasov A. A., Sovremennaja nauka: aktual'nye voprosy, dostizhenija i innovacii - sbornik statej XXXVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Penza. 2024. pp. 38-42. EDN: SYQRZW.

11. Tychola K.A., Voulgaridis K, Lagkas T. Beyond Flight: Enhancing the Internet of Drones with Blockchain Technologies. Drones 2024, 8, p. 219. URL: doi.org/ 10.3390/drones8060219. URL: mdpi.com/2504-446X/8/6/219.

**Дата поступления: 27.12.2024**

**Дата публикации: 25.02.2025**