

УДК 69.058

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А.Н. Ягубкин¹, В.В. Баев²

¹ Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь
e-mail: a.yagubkin@psu.by

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого Инженерно-строительный институт Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства, Санкт-Петербург, Российская Федерация

В Республике Беларусь и Российской Федерации цифровые и инновационные инструменты практически не входят в процесс контроля за строительством, а сотрудникам строительного контроля необходимо длительное время присутствовать на строительной площадке и большинство измерений производить вручную. Это усложняет работу сотрудника строительного контроля, так как человек не способен быстро с высокой точностью произвести тысячи измерений, и удостовериться в надежности той или иной конструкции. Целью исследований являлась разработка методики цифровизации строительного контроля на основе модели нейронной сети.

Ключевые слова: строительный контроль, модель, нейросеть, BIM, Flask-сервер, Navisworks-плагин, алгоритм, дефект, методика.

DIGITALIZATION OF CONSTRUCTION CONTROL BASED ON A NEURAL NETWORK MODEL

A. Yagubkin¹, V. Baev²

¹ Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus
e-mail: a.yagubkin@psu.by

² Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University Civil Engineering Institute Higher School of Industrial, Civil and Road Construction, Saint Petersburg, Russian Federation

In the Republic of Belarus and the Russian Federation, digital and innovative tools are practically not included in the construction control process, and construction control employees must be present at the construction site for a long time and most measurements must be taken manually. This complicates the work of a construction control employee, since a person is not able to quickly and accurately make thousands of measurements and verify the reliability of a particular structure. The purpose of the research was to develop a method for digitalizing construction control based on a neural network model.

Keywords: construction control, model, neural network, BIM, Flask server, Navisworks plugin, algorithm, defect, methodology.

Введение. Одним из приоритетных направлений, приобретающих значимость с каждым годом, является цифровизация строительной отрасли — в частности, внедрение технологий, обеспечивающих эффективный строительный контроль работ на объектах.

Можно отметить, что в Республике Беларусь и Российской Федерации цифровые и инновационные инструменты практически не входят в процесс контроля за строительством, а сотрудникам строительного контроля необходимо длительное время присутствовать на строи-

тельной площадке и большинство измерений производить вручную. Это усложняет работу сотрудника строительного контроля, так как человек не способен быстро с высокой точностью произвести тысячи измерений, и удостовериться в надежности той или иной конструкции [1–3].

В существующих методиках строительного контроля присутствует:

- Большая доля технически и технологически устаревших решений, таких как визуальные осмотры, использование измерительных инструментов (рулетка, уровень) предполагающих непосредственное участие человека, ручное отслеживание хода строительства.

- Трудозатратное и длительное проведение строительного контроля традиционными способом (визуальный осмотр требует много времени и средств, чтобы проникнуть в труднодоступные места, например, верх колонн, ферм).

- Большое количество бумажного документа-оборота (акты, отчёты, записи в журнале работ и т.п.).

- Устаревшая нормативная база, документы и законы, регулирующие проведение строительного контроля, на практике не позволяющие соблюдать все условия требования (получение разрешения на использование дрона).

- Ошибки и человеческий фактор при проведении строительного контроля.

Перспективными направлениями развития строительного контроля за рубежом являются:

- В США мониторинг в реальном времени, обнаружение опасностей и извлечение информации названы ключевыми областями, где применяется искусственный интеллект, с заметным упором на нейронные сети глубокого обучения [4].

- В Германии строительная отрасль переживает трансформационный сдвиг в сторону устойчивых и интеллектуальных решений для строительства, обусловленный достижениями в области 3D-печати, искусственного интеллекта (ИИ) и интернета вещей (IoT). Некоторые архитектурные и строительные компании внедряют инновационные технологии, чтобы сделать строительство более простым, безопасным, устойчивым, эффективным, дешевым, быстрым, с низким уровнем образования отходов и т.д. [5].

- В Великобритании важнейшей проблемой методов мониторинга и контроля хода реализации строительных проектов является их зависимость от сбора данных, который отнимает много времени и является непродуктивным и может привести к различным обстоятельствам при управлении проектами. Однако сбор и точный анализ информации со строительных площадок требует развития технологий. Компьютерное зрение (КЗ), как ключевая технология искусственного интеллекта (ИИ), является мощным инструментом анализа больших данных внедряемым чтобы решить вышеупомянутые проблемы [6].

Все вышеперечисленное подтверждает актуальность проведения соответствующих научных исследований.

Материалы и методы исследования. При решении поставленных задач выполнялся анализ отечественного и зарубежного опыта цифровизации строительного контроля, моделирование цифрового процесса строительного контроля, сравнивались существующие и перспективные инновационные методики, разрабатывалась и апробировалась модель нейронной сети. Для апробации разработанной методики использовалась одна из стройплощадок г. Санкт-Петербург (Российская Федерация).

Ограничения исследования. Ограничения исследования связано с ограничением использования цифровых методов. Перечислим основные ограничения.

- Высокие затраты на внедрение: Внедрение цифровых методов ведения строительного контроля может потребовать значительных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала. Это может стать ограничивающим фактором для некоторых организаций, особенно для малых и средних предприятий.

– Сложность использования и обучения: Некоторые цифровые методы, такие как BIM и искусственный интеллект, требуют специфических знаний и навыков для их использования и интерпретации результатов. Это может потребовать дополнительного обучения и переобучения персонала, что является трудоёмким процессом и требует дополнительных ресурсов.

– Недостаток стандартизации и интеграции: В сфере цифровых методов ведения строительного контроля отсутствуют общепринятые стандарты и нормы, что может создавать сложности в интеграции различных систем и обмене данными между участниками проекта. Необходимость разработки согласованных стандартов является важным аспектом для расширения применения этих методов.

– Конфиденциальность и безопасность данных: цифровые методы ведения строительного контроля часто требуют обработки и хранения больших объемов данных. Это создает вопросы конфиденциальности, безопасности и защиты данных от несанкционированного доступа или взлома. Необходимо разработать соответствующие меры безопасности для защиты данных и соблюдения законодательства о защите информации.

Экспериментальная часть. Целью исследований являлось разработка методики цифровизации строительного контроля на основе модели нейронной сети. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

– Разработка и апробация методики цифровизации строительного контроля на основе модели нейронной сети.

– Разработка нейронной сети, интегрированной с дронами и BIM (Autodesk Navisworks), служащей основой методики цифровизации строительного контроля.

Методика цифровизации строительного контроля состоит из следующих этапов:

1. Сбор данных с помощью дронов. Дроны собирают изображения различных частей строительного объекта.

2. Анализ данных с использованием нейросети. Загрузка изображения в нейросеть, которая определяет, есть ли дефекты на объектах. Если дефекты найдены, информация обрабатывается и отправляется на «Flask-сервер».

3. Обработка на стороне «Flask-сервера». Flask-сервер принимает данные и сохраняет их. Каждый обнаруженный дефект сопровождается изображением и координатами.

4. Интеграция с Navisworks для визуализации. «Navisworks-плагин» импортирует данные и отображает их на 3D-модели здания. Сотрудник строительного контроля может просматривать обнаруженные дефекты, их фотографии и координаты на модели.

5. Формирование отчётов. После завершения анализа данных, система автоматически генерирует отчёты с изображениями и координатами дефектов.

Таким образом, основными этапами работы будут: разработка модели нейронной сети, «Flask-сервера» и «Navisworks-плагина».

Процедура разработки модели нейронной сети включает в себя следующие основные этапы: проектирование архитектуры нейронной сети, обучение.

Разработка архитектуры нейронной сети, способной обрабатывать мультимодальные данные, и использовать слои для обработки изображения с дронов (слои CNN) и данные BIM (полностью связанные слои), включает в себя архитектуру свёрточной нейронной сети (CNN). Свёрточная сеть (CNN) используется для детекции объектов на строительной площадке, анализа состояния объектов и обнаружения повреждений или дефектов.

При обучении модели нейросети используется разделение обработанных данных на обучающие, проверочные и тестовые наборы. Обучение модели нейронной сети с использованием методов контролируемого обучения для оптимизации таких целей как: оценка прогресса, обнаружение дефектов или оптимизация ресурсов. Использование механизмов вни-

мания или графических нейронных сетей для данных, имеющих пространственные или временные зависимости, использование функции потерь (среднеквадратическую ошибку, перекрестную энтропию) и алгоритмы оптимизации (Адама, SGD) и библиотеки «TensorFlow» для обучения нейронной сети. Эпохи обучения представлены на рисунке 1.

```
Epoch 1/20
12/12 [=====] - 551s 47s/step - loss: 1.7332 - accuracy: 0.6017 - val_loss: 1.4728 - val_accuracy: 0.5938
Epoch 2/20
12/12 [=====] - 480s 40s/step - loss: 0.4173 - accuracy: 0.7881 - val_loss: 1.0773 - val_accuracy: 0.7396
Epoch 3/20
12/12 [=====] - 532s 44s/step - loss: 0.3074 - accuracy: 0.8842 - val_loss: 0.8885 - val_accuracy: 0.8125
Epoch 4/20
12/12 [=====] - 512s 43s/step - loss: 0.3538 - accuracy: 0.8475 - val_loss: 0.6616 - val_accuracy: 0.8125
Epoch 5/20
12/12 [=====] - 481s 40s/step - loss: 0.2602 - accuracy: 0.8927 - val_loss: 0.6974 - val_accuracy: 0.8646
Epoch 6/20
12/12 [=====] - 504s 43s/step - loss: 0.2060 - accuracy: 0.9167 - val_loss: 0.6425 - val_accuracy: 0.8646
Epoch 7/20
12/12 [=====] - 511s 46s/step - loss: 0.2113 - accuracy: 0.9237 - val_loss: 0.8973 - val_accuracy: 0.8750
Epoch 8/20
12/12 [=====] - 497s 42s/step - loss: 0.1942 - accuracy: 0.9294 - val_loss: 0.6599 - val_accuracy: 0.8958
Epoch 9/20
12/12 [=====] - 499s 42s/step - loss: 0.1561 - accuracy: 0.9407 - val_loss: 0.5431 - val_accuracy: 0.8646
Epoch 10/20
12/12 [=====] - 510s 46s/step - loss: 0.1828 - accuracy: 0.9435 - val_loss: 0.7854 - val_accuracy: 0.9167
Epoch 11/20
12/12 [=====] - 526s 44s/step - loss: 0.1943 - accuracy: 0.9350 - val_loss: 0.9942 - val_accuracy: 0.9167
Epoch 12/20
12/12 [=====] - 555s 47s/step - loss: 0.1938 - accuracy: 0.9349 - val_loss: 0.7173 - val_accuracy: 0.8542
Epoch 13/20
12/12 [=====] - 512s 46s/step - loss: 0.2179 - accuracy: 0.9096 - val_loss: 0.8520 - val_accuracy: 0.9062
Epoch 14/20
12/12 [=====] - 515s 43s/step - loss: 0.1525 - accuracy: 0.9492 - val_loss: 0.8025 - val_accuracy: 0.8854
```

Рисунок 1. – Эпохи обучения модели нейронной сети

Как видно из рисунка 1 модель нейронной сети прошла 14 эпох обучения с использованием более 500 изображений. Точность определения строительных дефектов составила около 95%.

Разработанная модель нейросети находится в общедоступном репозитории [7].

Flask-сервер используется для обработки данных, поступающих от нейросети, обнаруживающей дефекты на изображениях. Сервер получает изображения с дефектами и их координаты, сохраняет эти данные на локальном диске и отвечает на запросы с подтверждением успешной обработки. «Flask» позволяет создать сервер для обработки POST-запросов от нейросети. Разработанный алгоритм Flask-сервера находится в общедоступном репозитории [8].

Для разработки «Navisworks - плагина» использовался язык программирования «C#». Данный плагин предназначен для автоматической маркировки дефектов в модели, загруженной в «Autodesk Navisworks», используя заранее подготовленные изображения и координаты дефектов, хранящиеся в «JSON-файлах». Плагин находит ближайший элемент модели по предоставленным координатам и визуализирует соответствующее изображение дефекта.

Алгоритм работы плагина:

- Плагин загружает активную модель из «Navisworks».
- Из последнего доступного «JSON-файла» плагин получает координаты дефектов и путь к изображению.
- На основе этих координат осуществляется поиск ближайшего элемента модели.

– Если элемент найден, он подсвечивается в «Navisworks», и изображение дефекта отображается в отдельном окне.

– В случае отсутствия элемента или ошибки, выводится сообщение об ошибке.

Разработанный плагин находится в общедоступном репозитории [9].

Следующим этапом работы являлось проверка работы предложенной методики на строящемся объекте в г.Санкт-Петербурге (рисунок 2).



Рисунок 2. – Объект для проверки работы методики

На объекте дроном сделано 21 фото. Нейросетью найдено 7 изображений с дефектами (рисунок 3) и 14 изображений без дефектов (рисунок 4). Точность составила 100%.



Рисунок 3. – Найденные изображения с дефектами

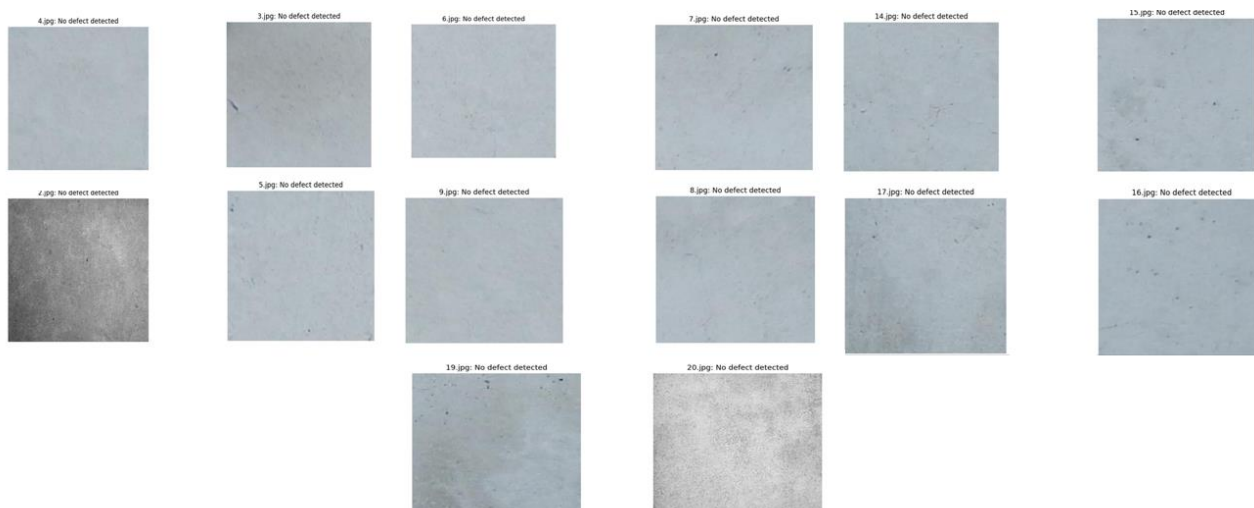


Рисунок 4. – Изображения без дефектов

Изображения с дефектами переданы нейросетью на Flask-сервер, а затем с помощью Navisworks – плагина загружены с привязкой к координатам BIM-модели в программу Autodesk Navisworks (рисунок 5).

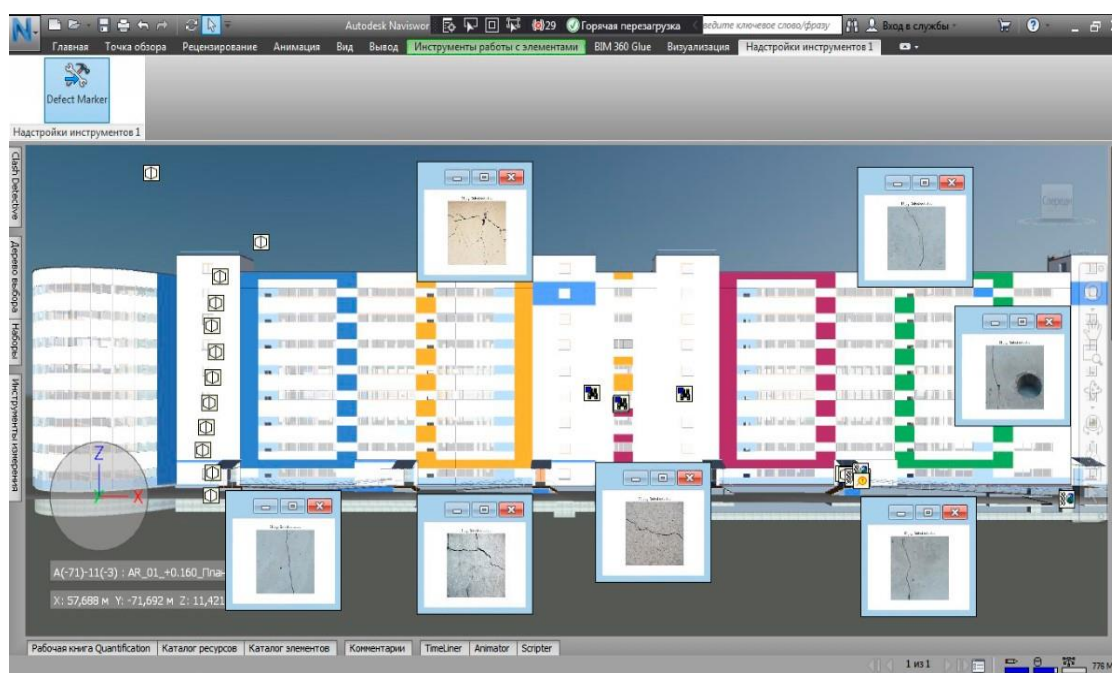


Рисунок 5. – «Navisworks-плагин» отображает найденные нейросетью дефекты на BIM- модели сооружения

Таким образом, лицо принимающее решение о результатах строительного контроля может делать это дистанционно, не выходя из офиса.

Заключение. В статье представлена разработанная методика цифровизации строительного контроля на основе модели нейронной сети, включающая в себя: нейронную сеть, «Flask - сервер» и «Navisworks - плагин».

Методика состоит из следующих этапов: создание аналитической модели, проведение валидации модели на конкретном примере, создание нейросети способной, обрабатывая снимки, определить строительные дефекты, обучение нейросети набором изображений, создание "Flask-сервера" для передачи данных от нейросети к "Navisworks-плагину", разработка Navisworks-

плагина", который забирает данные, переданные нейросетью во "Flask-сервер", обрабатывает их и отображает дефект на информационной модели здания с привязкой к координатам. Данная методика позволяет контролировать качество выполнения строительных работ, способствует выявлению дефектов на ранних стадиях и сокращению расходов как устранение выявленных недостатков, так и на зарплату персоналу, осуществляющим строительный контроль.

Произведена апробация методики цифровизации строительного контроля на основе модели нейронной сети. В результате были получены основные технико-экономические показатели, удовлетворяющие требованиям данной работы. Нейросеть в интеграции с дронами и BIM (Autodesk Naviworks Manage), доказала свою работоспособность и применимость для цифровизации строительного контроля.

Созданная методика обладает большим потенциалом, модель нейросети, являющаяся основой, может использоваться не только в приемочном, как сейчас, но и во входящем и операционном контроле путем добавления в нейросеть модулей управления «IoT-датчиками», фиксирующими физические параметры строительства (уровень вибраций, влажность и температуру воздуха) и сообщающими о возможных проблемах с качеством материалов, таких как неправильная заливка бетона или нарушение условий хранения материалов. Информация о нарушениях, полученных от «IoT-датчиков» нейросетью, переданная через «Flask – сервер» в «Navisworks – плагин», будет сразу доступна сотрудникам строительного контроля, что повысит качество строительства и значительно сократит расходы строительных компаний на переделки и устранение дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОДМ 218.4.023-2015. Методические рекомендации по оценке эффективности строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог – М.: РОСДОРНИИ, 2015.
2. РД 11-04-2006 «Порядок проведения проверок при осуществлении государственного строительного надзора и выдачи заключений о соответствии построенных, реконструированных, отремонтированных объектов капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил), иных нормативных правовых актов и проектной документации».
3. Четверик, Н.П. Оценка эффективности инноваций на этапе проекта / Н.П. Четверик. - Наука и безопасность. - 2014. - N 2(11). - С. 2-33.
4. Rabbi, A.B.K.; Jeelani, I. AI integration in construction safety: Current state, challenges, and future opportunities in text, vision, and audio based applications. Autom. Constr. 2024, 164, 105443. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105443>.
5. Alotaibi, Badr & Shema, Abdulsalam & Ibrahim, Assoc. Prof. Dr. Abdullahi & Abuhussain, Mohammed & Abdulmalik, Halima & Dodo, Yakubu & Atakara, CEMIL. (2024). Assimilation of 3D Printing, Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT) for the Construction of Eco-Friendly Intelligent Homes: An Explorative Review. 10.2139/ssrn.4731386. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36846>.
6. Sami Ur Rehman, Muhammad & Shafiq, Muhammad & Ullah, Fahim. (2022). Automated Computer Vision-Based Construction Progress Monitoring: A Systematic Review. Buildings. 12. 1037. 10.3390/buildings12071037. – DOI: <https://doi.org/10.1680/jsmic.22.00026>.
7. GitHub веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. – Режим доступа: <https://github.com/Vitlasvan/Neural-network-for-construction-supervision.git>. – Дата доступа: 11.11.2024.
8. GitHub веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. – Режим доступа: <https://github.com/Vitlasvan/FlaskServer>. – Дата доступа: 11.11.2024.
9. GitHub веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки. – Режим доступа: <https://github.com/Vitlasvan/NavisworksDefectPlugin9>. – Дата доступа: 11.11.2024.