

## ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ТЕХНОЛОГИЯМИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Николюкин А.Н., канд. техн. наук, старший преподаватель

Печникова Е.А., студент

Лисовский В.А., магистрант

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

**Аннотация:** Рассмотрена интеграция машинного обучения (ML) с технологиями информационного моделирования зданий. Подчёркнута роль ML как основы интеллектуальных систем, обеспечивающих динамическое управление строительными объектами на всех этапах жизненного цикла. Представлены конкретные примеры и сценарии использования интегрированных цифровых платформ, позволяющих оптимизировать эксплуатацию и повысить безопасность строительных объектов. Анализируются перспективы и проблемы внедрения таких систем в российской строительной практике.

**Ключевые слова:** машинное обучение, информационное моделирование зданий, Интернет вещей, цифровой двойник, интеллектуальные системы, строительная отрасль

Интеллектуальные системы на базе машинного обучения (ML) находят всё более широкое применение в строительной отрасли, где формируется обширная цифровая экосистема. Она объединяет технологии информационного моделирования объектов (ТИМ), устройства Интернета вещей (IoT) и концепцию цифровых двойников. Суть этого подхода в том, чтобы иметь не просто статическую цифровую копию проектируемого или эксплуатируемого объекта, а динамическую модель, непрерывно пополняемую оперативными данными от сенсоров, строительных машин, специализированных платформ. При таком сценарии машинное обучение перестаёт быть отдельной расчётной методикой — оно становится “мозгом” системы, автоматически выявляющим закономерности, прогнозирующим отказы и оптимизирующим эксплуатацию сооружения на всех стадиях его жизненного цикла.

В архитектурно-проектной сфере ML тесно переплетается с ТИМ. Традиционная ЦЗМ отражает геометрию, физические свойства, планировочные и конструктивные решения. Однако её возможности значительно возрастают, когда к ней подключаются самообучающиеся алгоритмы, способные анализировать фактическую информацию, поступающую при строительстве (проверка соответствия проекта и реального исполнения) и при эксплуатации (оценка поведения конструкций, изменение прочностных характеристик). Если к ЦЗМ, наполненной исходными данными о материалах и узлах, добавить регулярные измерения из полевых датчиков, а затем “скормить” всё это ML-модулю, мы получаем динамичный инструмент для планирования ремонтных мероприятий, корректировок проекта, поиска узких мест, и даже для генерации архитектурных вариантов или поисковой оптимизации.

Значимую роль здесь играют решения Интернета вещей (IoT), где множество сенсоров — от ускорений и вибраций до влажности и температуры — расставлены на ключевых элементах строящегося или уже эксплуатируемого здания. Все эти датчики выдают колоссальные массивы данных. Задача ML-алгоритмов — обрабатывать эти потоки в реальном времени, выявляя паттерны и аномалии (нетипичная вибрация, резкое изменение температурного режима или, к примеру, смещение опорной конструкции). Такой подход позволяет проактивно предотвращать аварийные ситуации, давая сигнал службам эксплуатации о возникновении критических отклонений. Кроме того, операторам проще оптимизировать расход ресурсов (энергии, воды, различных материалов), так как самообучающаяся система подсказывает оптимальные режимы, исходя из текущей нагрузки и условий.

Цифровой двойник рассматривается как наиболее развитая форма ТИМ-модели. Он непрерывно обновляется фактическими данными о состоянии здания и его окружения, следит за многими параметрами, умеет “учиться” на реальном опыте эксплуатации, то есть совершенствует свою прогнозную точность. Таким образом, если в систему встроен ML-модуль, то цифровой двойник начинает работать не только как статическое описательное средство, но и как предиктивный инструмент, формирующий сценарии поведения сооружения в различных условиях. Например, в сейсмоопасных районах цифровой двойник собирает исторические сведения о локальных толчках, микротрещинах, косвенных симптомах усталости материалов, и машинное обучение на базе этих данных выводит предсказания о вероятности дальнейшего роста повреждений или необходимости усиления конструкций. Аналогично при эксплуатации в климатических зонах с резкими перепадами температур система ML обучается на многолетних метеонаблюдениях и, вкупе с данными о микроклимате внутри здания, даёт рекомендации по управлению вентиляцией, отоплением или увлажнением, обеспечивая оптимальные условия для комфортной эксплуатации и экономии ресурсов.

Интеграция ML, BIM и IoT создаёт единый цифровой контур, где автоматизированные рекомендации становятся нормой работы эксплуатации: оператор может увидеть на визуальной модели зону, где, по прогнозу алгоритма, в ближайшие месяцы может начаться коррозия или трещинообразование, и оперативно принять меры по ремонту. В строительном процессе IoT-устройства на спецтехнике или в материалах (умные датчики в бетоне) передают текущие показания — машина обучения сопоставляет фактические параметры с проектными и сигнализирует о несоответствиях (например, о несоответствии фактической прочности бетонной смеси). Благодаря цифровому двойнику такие сигналы легко отображаются на трёхмерной модели каркаса, указывая проблемные узлы.

Практика показывает, что подобная связка не только снижает риск аварий и повышает качество строительного процесса, но и даёт экономический эффект: более точный учёт ресурсов, своевременный ремонт вместо капитальных затрат на устранение последствий, снижение количества брака и переделок. Тем не менее, реализация этой схемы сопряжена с рядом вызовов: необходимо обеспечить надежную ИТ-инфраструктуру (серверы, каналы связи, системы кибербезопасности для IoT), необходимы общие стандарты для обмена данными между разнородными подсистемами, также требуется квалифицированный персонал, умеющий адекватно интерпретировать результаты ML-модулей и своевременно “учить” их новыми данными. Кроме того, возникает вопрос правового регулирования и распределения ответственности: если цифровой двойник и машина обучения рекомендует, то или иное проектное решение или вид ремонта, кто несёт юридическую ответственность за возможные ошибки (как обсуждалось в юридических аспектах)?

Несмотря на сложности, динамика в отрасли показывает, что интеграция ML с технологиями ТИМ, IoT и цифровых двойников постепенно перестаёт быть экспериментом и становится рабочим инструментом строительных компаний, девелоперов и управляющих организаций. Системы, способные адаптироваться под реальные условия, повышают безопасность, сокращают затратность и обеспечивают “прозрачность” всей информации по объекту в течение всего его жизненного цикла. В перспективе дальнейшее развитие этой интеграции выведет российское строительство на новый уровень цифровой зрелости, когда машина-алгоритм наряду с профессиональными инженерами станет полноценным участником управленческих и инженерных решений.

#### **Библиографический список**

1. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks //Machine learning. - 1995. - Т. 20. - №. 3. - С. 273-297.
2. Schapire R. E. The strength of weak learnability //Machine learning. - 1990. - Т. 5. - №. 2. - С. 197-227.
3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory //Neural computation. - 1997. - Т. 9. - №. 8. - С. 1735-1780.
4. Glorot X., Bordes A., Bengio Y. Deep Sparse Rectifier Neural Networks, in: Proceedings of the Fourteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, 2011: pp. 315–323.
5. Николенко С. Глубокое обучение. / С. Николенко, А. Кадурин, Е. Архангельская. СПб: Питер, 2020. – 480 с.
6. A shallow convolutional neural network for accurate handwritten digits classification / V. Golovko, M. Egor, A. Brich, A. Sachenko // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 673. – P. 77-85. – DOI 10.1007/978-3-319-54220-1\_8. – EDN YWXVTF.

7. Колесниченко, О. Ю. Data Science (наука о данных) в становлении информационного общества: учебное пособие / О. Ю. Колесниченко. – М.: Прометей, 2021. – 52 с.

8. Колчин В.Н. Специфика применения технологии искусственного интеллекта в строительстве // Инновации и инвестиции. 2022. № 3. С. 250-253.

9. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 4. С. 136-139.

УДК 69:658.5:006.3/8

ББК 32

## **ПЛАН УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЕКТА КАК ИНСТРУМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Пикус Д.М.<sup>1</sup>, Бушуева Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Экономика, организация строительства и управление недвижимостью»

<sup>2</sup> магистрант специальности 7-06 -0732- 01 "Строительство"  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*В статье рассматриваются основные принципы и подходы к обеспечению качества в строительной деятельности Республики Беларусь в контексте действующего законодательства и подчёркивается, что ключевым направлением государственной политики является внедрение проектного управления и развитие системы управления качеством в рамках реализации инвестиционных проектов.*

*Основное внимание уделено плану управления качеством проекта как составной части общего плана управления проектом. Раскрыта его структура, цели и функции, а также основные процессы: планирование, обеспечение и контроль качества.*

*Подчёркивается, что наличие эффективного плана управления качеством позволяет минимизировать затраты, повысить качество строительных работ и удовлетворённость заказчика.*

**Ключевые слова:** строительство, качество, управление проектом, план управления проектом, план управления качеством проекта.

## **PROJECT QUALITY MANAGEMENT PLAN AS A TOOL OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM IN CONSTRUCTION**

**Pikus D.M.<sup>1</sup>, Bushueva E.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> PhD in Technical, associate professor, Associate Professor of the Department of Economics, Organization of Construction and Real Estate Management

<sup>2</sup> Master's student 7-06 -0732-01 "Construction"  
Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus