УДК 004
EDN VNRKVP
https://www.doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3003

# Интеграция технологий Smart Dust в информационное обеспечение BIM-систем

**П.В. Ендуткин***

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

*E-mail: endutkin@kp-pro.ru

**Аннотация**. В статье рассматривается повышение эффективности информационного обеспечения BIM-систем за счёт интеграции информационного моделирования с технологиями Интернета вещей и распределёнными сенсорными системами Smart Dust. Предложен подход к формированию единого информационного пространства, обеспечивающего сквозную связь между сенсорами, физическими объектами, элементами BIM-модели и корпоративными информационными системами. Рассмотрены возможности применения сенсорных данных для мониторинга технического состояния конструкций, предиктивного обслуживания, управления энергоэффективностью, микроклиматом и безопасностью зданий. Предложена архитектура информационного взаимодействия Smart Dust, IoT-платформы, интеграционного слоя, BIM-модели и корпоративных систем. Обосновано функциональное разделение хранения семантических BIM-данных и потоковой телеметрии. Показано, что предлагаемый подход позволяет повысить актуальность, управляемость и прикладную ценность информационного обеспечения BIM-систем и формирует технологическую основу для создания цифровых двойников зданий.

**Ключевые слова:** BIM, информационное моделирование, Smart Dust, Интернет вещей, IoT, цифровой двойник, информационное обеспечение, корпоративные информационные системы.

**Для цитирования:** Ендуткин, П. В. Интеграция технологий Smart Dust в информационное обеспечение BIM-систем / П. В. Ендуткин // Модернизация, Инновации, Прогресс (MIP ENGINEERING-VII-2026): материалы VII Всероссийской (национальной) научной конференции (Красноярск, 11–12 сентября 2026 г.). – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2026. – Т. 20. – С. 189-195. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3003. – EDN: VNRKVP.

# Integration of Smart Dust technologies into BIM systems information support

**P. V. Endutkin***

Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Avenue, Krasnoyarsk, 660049, Russia

*E-mail: endutkin@kp-pro.ru

**Abstract.** The article addresses improving the efficiency of BIM information support through the integration of Building Information Modeling with the Internet of Things and distributed Smart Dust sensor systems. An approach to creating a unified information environment is proposed, providing end-to-end links between sensors, physical assets, BIM model elements, and corporate information systems. The possibilities of using sensor data for structural condition monitoring, predictive maintenance, energy efficiency management, indoor climate control, and building safety are considered. An information interaction architecture integrating Smart Dust, an IoT platform, an integration layer, a BIM model, and corporate systems is proposed. Functional separation between semantic BIM data and streaming telemetry storage is substantiated. The proposed approach improves the relevance, manageability, and practical value of BIM information support and provides a technological basis for the development of building digital twins.

**Keywords:** BIM, Building Information Modeling, Smart Dust, Internet of Things, IoT, digital twin, information support, corporate information systems.

**For citation:** Endutkin, P. V. Integration of Smart Dust technologies into BIM systems information support / P. V. Endutkin // Modernization, Innovations, Progress (MIP ENGINEERING-VII-2026): Proceedings of the VII All-Russian (National) Scientific Conference (Krasnoyarsk, September 11–12, 2026). – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations, 2026. – Vol. 20. – P. 189-195. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3003. – EDN: VNRKVP.

## 1. Введение

Современный этап развития BIM-технологий характеризуется переходом от преимущественно статического информационного моделирования объектов капитального строительства к формированию динамических информационно-аналитических моделей, актуализируемых на основе данных, поступающих непосредственно от эксплуатируемого объекта. В рамках исследования по повышению эффективности информационного обеспечения BIM-систем актуальным является интеграция BIM-среды с технологиями Интернета вещей (IoT), распределенными сенсорными сетями и корпоративными информационными системами предприятия [1, 2].

Одним из перспективных направлений развития подобных систем является применение технологии Smart Dust («умная пыль»), включающей совокупность миниатюрных автономных или полуавтономных беспроводных сенсорных узлов, предназначенных для распределенного сбора информации о состоянии объекта и параметрах окружающей среды [3]. Такие устройства потенциально могут регистрировать температуру, влажность, освещенность, концентрацию углекислого газа и летучих органических соединений, вибрации, деформации и структурные нагрузки, присутствие людей и другие показатели, характеризующие текущее состояние здания.

Типовой сенсорный узел Smart Dust включает чувствительный элемент, вычислительный модуль и средство беспроводной передачи данных. Датчик осуществляет измерение физического параметра, процессор выполняет первичную обработку и фильтрацию полученной информации, после чего данные передаются в центральную информационную систему, IoT-платформу либо облачную инфраструктуру. В контексте BIM принципиально важным является не сам факт получения телеметрических данных, а их автоматизированное сопоставление с конкретными объектами информационной модели: помещениями, конструкциями, инженерным оборудованием и функциональными зонами.

## 2. Материалы и методы

В рамках данного исследования, компоненты Smart Dust рассматриваются в качестве источников оперативного информационного наполнения BIM-модели на стадии эксплуатации. В отличие от традиционного подхода, при котором значения параметров вводятся в BIM-систему периодически либо формируются на основании проектной документации, распределенная сенсорная инфраструктура обеспечивает непрерывное обновление части эксплуатационных характеристик объекта. В результате BIM-модель

приобретает свойства динамической информационно-аналитической модели и может использоваться в качестве информационной основы цифрового двойника здания [4].

Данный подход непосредственно связан с разрабатываемым автором принципом формирования единого информационного пространства предприятия на основе интеграции BIM-систем с существующими корпоративными информационными системами. В предлагаемой архитектуре данные Smart Dust и других IoT-устройств должны поступать не в изолированную систему мониторинга, а в интеграционный контур, обеспечивающий их использование одновременно в BIM, системах управления эксплуатацией и техническим обслуживанием, аналитических платформах, системах диспетчеризации и других корпоративных приложениях.

Важным элементом такого подхода является формирование однозначной информационной связи вида «сенсор – физический объект – объект BIM-модели – корпоративный информационный ресурс». Наличие данной связи позволяет устранить информационные разрывы между физическим объектом строительства, его цифровым представлением и управленческими информационными системами предприятия. При этом BIM-система выполняет функцию пространственно-семантической основы интеграции данных, а корпоративная информационная среда обеспечивает их накопление, обработку и использование в бизнес-процессах.

## 3. Результаты и обсуждение

Практическое применение интеграции распределённых сенсорных систем с BIM может осуществляться по нескольким основным направлениям. Использование данных Smart Dust позволяет связать фактические параметры состояния объекта с соответствующими элементами информационной модели и применять полученную информацию для решения эксплуатационных и управленческих задач [5]. Основные направления такого применения представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Основные направления применения данных Smart Dust в BIM-системах.

| Направление применения | Используемые данные | Результат интеграции с BIM |
|---|---|---|
| Техническая эксплуатация | Вибрации, деформации, температурные режимы, параметры конструкций | Выявление аномалий, оценка технического состояния, переход к предиктивному обслуживанию |
| Энергоэффективность и микроклимат | Присутствие людей, температура, освещённость, параметры микроклимата | Оптимизация работы HVAC и систем освещения с учётом характеристик помещений BIM-модели |
| Качество воздуха и безопасность | Параметры качества воздуха, данные распределённых сенсоров безопасности | Контроль функциональных зон и пространственная локализация потенциально опасных ситуаций в BIM-модели |

Как следует из таблицы 1, интеграция сенсорных данных с BIM позволяет использовать информационную модель не только как средство представления проектных и пространственных характеристик объекта, но и как основу для анализа его текущего эксплуатационного состояния. Существенным преимуществом такого подхода является возможность пространственно-семантической привязки измеряемых параметров к конкретным помещениям, конструкциям и инженерным системам. Это повышает оперативность выявления отклонений, обоснованность эксплуатационных решений и эффективность использования данных в процессах технического обслуживания, энергоменеджмента и обеспечения безопасности здания.

Вместе с тем включение Smart Dust в контур BIM порождает новые требования к информационному обеспечению. Количество сенсорных узлов и высокая частота измерений приводят к формированию значительных потоков разнородных временных данных. Хранение всего массива телеметрии непосредственно внутри BIM-модели является неэффективным. Поэтому целесообразно разграничивать геометрическую и семантическую информацию BIM и оперативные временные ряды. В самой модели должны храниться идентификаторы сенсоров, их типы, местоположение и связи с объектами, тогда как измерения могут размещаться во внешнем хранилище или корпоративной IoT-платформе и предоставляться BIM-системе через программные интерфейсы.

Архитектурная организация информационного взаимодействия представлена на рисунке 1. Схема отражает последовательное прохождение данных от распределенных сенсорных узлов через IoT-инфраструктуру и интеграционный слой к BIM-модели и далее к корпоративным информационным системам предприятия.

**Рисунок 1.** Интеграция Smart Dust, BIM-системы и корпоративных информационных систем.

Отметим, что измерения могут размещаться во внешнем хранилище или корпоративной IoT-платформе и предоставляться BIM-системе через программные интерфейсы [6]. Как показано на рисунке 1, интеграционный слой выполняет функции нормализации, идентификации и маршрутизации данных, обеспечивая однозначное соответствие между сенсором, физическим объектом и элементом BIM-модели. В результате BIM-система сохраняет пространственно-семантическую роль, а оперативные временные ряды могут храниться во внешней IoT-платформе или корпоративном хранилище и

предоставляться по программным интерфейсам. Такое разделение позволяет снизить информационную избыточность BIM-модели и одновременно обеспечить доступ корпоративных систем к актуальным эксплуатационным данным.

Таким образом, повышение эффективности информационного обеспечения достигается не путем механического увеличения объема данных BIM-модели, а посредством формирования управляемой системы информационных связей и регламентированного обмена данными между BIM, IoT и корпоративными информационными системами.

Отдельное значение имеют вопросы качества и достоверности информации [7]. Для практического применения сенсорных данных необходимо контролировать их актуальность, временную привязку, единицы измерения, точность, полноту, источник происхождения и статус достоверности. При интеграции большого количества распределенных устройств требуется также предусматривать механизмы выявления неисправных сенсоров и аномальных измерений. Тем самым задачи управления BIM-процессами расширяются и включают управление жизненным циклом данных, поступающих от физического объекта.

Перспективным является использование искусственного интеллекта и методов машинного обучения для аналитической обработки интегрированной информации. Алгоритмы могут выявлять отклонения параметров эксплуатации от нормативных или исторически сложившихся значений, прогнозировать вероятность отказов оборудования, оптимизировать энергопотребление и формировать рекомендации эксплуатационному персоналу [8]. При этом BIM-модель позволяет представить результаты анализа в пространственном контексте, связав обнаруженную проблему непосредственно с конкретным элементом здания или инженерной системы.

Одновременно применение распределенных сенсорных сетей связано с рядом технологических ограничений. К ним относятся вопросы автономного энергоснабжения миниатюрных устройств, надежности беспроводной связи, масштабируемости инфраструктуры, обработки больших объемов данных, информационной безопасности и защиты персональных данных. Особенно существенными данные вопросы становятся при интеграции IoT-инфраструктуры с корпоративными системами, поскольку компрометация одного из элементов сенсорной сети потенциально может создавать риски для всего информационного пространства предприятия [9].

В рамках проводимого исследования технология Smart Dust представляет интерес прежде всего как пример нового класса источников данных, требующих дальнейшего развития принципов информационного обеспечения BIM-систем. Ее интеграция с BIM подтверждает необходимость перехода от локального использования информационных

моделей к системному управлению информационными потоками на протяжении жизненного цикла объекта [10].

Предлагаемый авторский подход предусматривает построение интегрированной среды, в которой BIM-модель выступает связующим информационным звеном между физическим объектом, распределенными средствами мониторинга и корпоративными информационными системами. В отличие от обособленного применения BIM или IoT, такое решение ориентировано на формирование единого информационного пространства предприятия с унифицированными механизмами идентификации объектов, обмена, актуализации и аналитической обработки информации.

## 4. Заключение

Применение Smart Dust и других технологий распределенного мониторинга может рассматриваться как одно из перспективных направлений практической реализации положений диссертационной работы. Интеграция динамических данных о состоянии объекта в информационно-аналитическую BIM-модель позволяет повысить актуальность, полноту и прикладную ценность информационного обеспечения, обеспечить поддержку предиктивного обслуживания, повысить энергоэффективность и безопасность эксплуатации и создать технологическую основу для формирования цифровых двойников зданий и сооружений.

Научная новизна исследования в рассматриваемой части состоит в развитии системного подхода к интеграции BIM с распределенными источниками эксплуатационных данных и корпоративными информационными системами. Предлагается формирование единого информационного пространства на основе сквозной связи «сенсор – физический объект – объект BIM-модели – корпоративный информационный ресурс» и функционального разделения хранения BIM-данных и потоковой телеметрии. Это обеспечивает повышение актуальности и управляемости информационного обеспечения BIM-систем без избыточного усложнения самой информационной модели.

## Список литературы

1. Mannino, A. Building Information Modelling and Internet of Things Integration for Facility Management – Literature Review and Future Needs / A. Mannino, M. C. Dejaco, F. Re Cecconi // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, No. 7. – Art. 3062. – https://doi.org/10.3390/app11073062. – EDN: DRQRPD.
2. Bosco, B. J. Navigating Rwanda’s industrial growth: a comprehensive analysis of the impact of cement and construction sectors on air quality and public health / B. J. Bosco, A. Hasan, M.

Adeel, M. Akter // Informatics. Economics. Management. – 2026. – Vol. 5, No. 1. – P. 2001–2014. – https://doi.org/10.47813/2782-5280-2026-5-1-2001-2014.

3. Warneke, B. Smart Dust: communicating with a cubic-millimeter computer / B. Warneke, M. Last, B. Liebowitz, K. S. J. Pister // Computer. – 2001. – Vol. 34, No. 1. – P. 44–51. – https://doi.org/10.1109/2.895117.
4. Walczyk, G. Building Information Modeling and Digital Twins for Functional and Technical Design of Smart Buildings with Distributed IoT Networks—Review and New Challenges Discussion / G. Walczyk, A. Ożadowicz // Future Internet. – 2024. – Vol. 16, No. 7. – Art. 225. – https://doi.org/10.3390/fi16070225. – EDN: SABZRR.
5. Desogus, G. BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings / G. Desogus, E. Quaquero, G. Rubiu, G. Gatto, C. Perra // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 8. – Art. 4496. – https://doi.org/10.3390/su13084496. – EDN: OGBTZR.
6. Chatsuwan, M. Enhancing Facility Management with a BIM and IoT Integration Tool and Framework in an Open Standard Environment / M. Chatsuwan, M. Ichinose, H. Alkhalaf // Buildings. – 2025. – Vol. 15, No. 11. – Art. 1928. – https://doi.org/10.3390/buildings15111928. –EDN: XRCURU.
7. Kabiraz, P. The application of cybersecurity in smart city innovations: an AI aspect / P. Kabiraz, O. Faruq, K. A. Talukder, M. R. Moin // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2025. – Vol. 5, No. 4. – P. 2101–2113. – https://doi.org/10.47813/2782-2818-2025-5-4-2101-2113. – EDN: VTMHSO.
8. Hu, W. A semi-supervised method for digital twin-enabled predictive maintenance in the building industry / W. Hu, Y. Cai // Neural Computing and Applications. – 2024. – Vol. 36, No. 25. – P. 15759–15775. – https://doi.org/10.1007/s00521-024-09926-1. – EDN: FWFXGP.
9. Siam, M. A. Cybersecure Intelligent Sensor Framework for Smart Buildings: AI-Based Intrusion Detection and Resilience Against IoT Attacks / M. A. Siam, K. Y. Lucky, S. N. Hasan [et al.] // Sensors. – 2025. – Vol. 25, No. 24. – Art. 7680. – https://doi.org/10.3390/s25247680. – EDN: HANCXZ.
10. Endutkin, P. V. On the analysis of transactional reliability of multi-component information support in BIM systems / P. V. Endutkin, E. V. Tueva // Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2025. – Vol. 5, No. 2. – P. 3040–3049. – https://doi.org/10.47813/2782-2818-2025-5-2-3040-3049. – EDN: ILFKJG.