

АДАПТАЦИЯ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Кузнецов Ю.А., Гаврикова М.А., Кирколуп Е.Р.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Барнаул*

Ключевые слова: информационное моделирование, 3D-печать, аддитивные технологии, цифровая трансформация, конструктивные ограничения.

Аннотация. В статье рассматривается проблема интеграции технологий информационного моделирования и аддитивного производства в строительстве. Отмечается технологический разрыв между этапами проектирования в средах разработки цифровых информационных моделей и подготовкой к 3D-печати. Приведены ключевые особенности проектирования зданий для 3D-печати с учётом технологических ограничений аддитивного производства. Предложена методология адаптации цифровой информационной модели под требования строительных принтеров для автоматизации технологического процесса.

ADAPTATION OF A DIGITAL INFORMATION MODEL OF A BUILDING FOR 3D PRINTING

Kuznetsov Yu.A., Gavrikova M.A., Kirkolup E.R.

Polzunov Altai state technical university, Barnaul

Keywords: information modeling, 3D printing, additive technologies, digital transformation, construction automation, architectural constraints, structural constraints.

Abstract. This article addresses the challenge of integrating building information modeling (BIM) with additive manufacturing technologies in the construction industry. A significant technological gap exists between the design phase in digital information modeling environments and the preparation stage for 3D printing. The paper outlines the key design features required for 3D-printed buildings, accounting for the technological limitations of additive manufacturing. Furthermore, it proposes a methodology for adapting digital information models to meet the specific requirements of construction 3D printers to automate the technological process.

Внедрение технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительство, ставшее обязательным с сентября 2024 г. (постановление Правительства РФ №614), создаёт предпосылки для развития аддитивных методов возведения зданий. Однако сохраняется разрыв между проектированием в среде ТИМ и подготовкой управляющих программ для строительных 3D-принтеров: платформы (например, Autodesk Revit) не генерируют напрямую траектории движения экструдера и управляющие коды для строительных принтеров [1]. Качественная цифровая информационная модель (ЦИМ) для 3D-печати должна учитывать архитектурно-конструктивные параметры и технологические ограничения аддитивного производства [2].

Ключевое ограничение – необходимость непрерывности экструзии. В отличие от традиционных методов, 3D-печать требует плавных траекторий без разрывов. Оптимальны прямолинейные участки, плавные криволинейные формы с радиусом закругления ≥ 150 мм, замкнутые контуры. Например, проект BOD2

House (COBOD), где цилиндрическая форма минимизировала остановки печати [3].

Толщина стены должна быть кратна диаметру сопла (20-50 мм, чаще 30-40 мм) с учетом перекрытия слоёв 10-20%. Расчёта количества дорожек: $n = t/d$, где t – толщина стены, d – 0,8...0,9 диаметра сопла с учетом наложения слоев. Например, при толщине стены 120 мм и диаметре сопла 30 мм получается ровно 5 дорожек при их 20% перекрытии. Высота слоя влияет на скорость и прочность: увеличение ускоряет печать, но снижает адгезию.

Печать наклонных элементов возможна до 30° к горизонту. Так, например, в проекте «Tecla» (WASP, Италия) реализованы купола с наклоном до 60° благодаря быстросхватывающемуся глиняному композиту [4]. Однако такие решения требуют точного контроля траектории и специального ПО. Перекрытия и кровля чаще выполняются гибридно: стены печатаются, а горизонтальные элементы монтируются из сборных конструкций из-за необходимости опалубки и армирования.



Рис. 1. Эко-жилой дом Tecla, напечатанный на 3D-принтере из глины

Интеграция инженерных коммуникаций возможна двумя способами: закладка каналов в ЦИМ на этапе моделирования или механическая прокладка после затвердевания. Первый метод предпочтительнее, но требует высокой точности моделирования и координации с инженерами ещё на стадии формирования цифровой модели.

Прочность печатных конструкций ограничена межслойной адгезией [3]. В данном случае методами усиления могут быть: фибробетон (1-2% волокон) [5]; внешнее армирование после печати отдельных секций; интегрированное армирование в процессе печати и комбинированные решения (например, технология ICON, США).

Климатические условия существенно влияют на процесс печати: температура ниже +5°C замедляет схватывание, высокая температура и ветер вызывают растрескивание. Поэтому большинство проектов реализуется в закрытых контурах или с применением мобильных укрытий.

Адаптация ЦИМ к 3D-печати начинается с концептуального этапа. Геометрические параметры элементов должны быть кратны характеристикам сопла. Ключевым барьером является отсутствие прямой интеграции между ТИМ-платформами и САМ-системами. Типовая цепочка представляется в виде: нативный формат ЦИМ → IFC → STL/OBJ → G-code. Современные инструменты (Revit, Renga) позволяют сократить этапы конвертации. Также важно включение в ЦИМ информационных меток (например, маркер начала печати, зоны остановки, участки с изменением состава материала).

Преимущества адаптированных ЦИМ для 3D-печати:

- 1) сокращение сроков строительства за счёт автоматизации процесса возведения несущих конструкций;
- 2) минимизация отходов материалов и снижение трудозатрат;
- 3) возможность реализации сложных архитектурных форм без дополнительной опалубки;
- 4) повышение точности контроля соответствия выполненных работ проектной документации, например, за счёт наложения ЦИМ на реальный объект в режиме дополненной реальности.

Рост глобального рынка 3D-печати (в 1,5-2 раза ежегодно до 2033 г.) и планы Минстроя РФ по строительству 1 млн. м² жилья с использованием аддитивных технологий к 2030 г. подтверждают актуальность разработки сквозных цифровых решений.

Заключение

ЦИМ для 3D-печати должна учитывать технологические ограничения аддитивного производства: непрерывность экструзии, кратность параметров элемента характеристикам сопла, углы наклона, требования к армированию. Перспективным направлением является разработка специализированных модулей для ТИМ-систем, обеспечивающих сквозной цифровой поток «проект → печать» в соответствии с ГОСТ Р 10.00.00.00-2023 и стандартам ISO 19650.

Список литературы

1. Акулов А.О., Рада А.О., Кононова С.А. Анализ современных видов контроля строительных работ и проблемы их развития // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2023. – №10(778). – С. 97-107.
2. García-Alvarado R., Lim S., Buswell R.A. From BIM model to 3D construction printing: A framework proposal // Sustainable Cities and Society. 2024, vol. 102, p. 105213.
3. Panda B., Paul S.C. Effect of environmental conditions on printability of fly ash geopolymer concrete // Construction and Building Materials. 2019, vol. 222, pp. 484-493.
4. Chiusoli A. Tecla. A 3D printed global habitat for sustainable living // WASP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>
5. Buswell R.A., Leal de Silva W.R., Jones S.Z., Dirrenberger J., Roussel N. Vision of 3D printing with concrete – Technical implications and challenges // Cement and Concrete Research. 2018, vol. 112, pp. 138-156.

Сведения об авторах:

Кузнецов Юрий Андреевич – студент;

Гаврикова Мария Александровна – ассистент;

Кирколуп Евгений Романович – к.т.н., доцент кафедры строительных конструкций.