УДК 69:004 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.024

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

© Эльмурзаев Абухан Магомедович

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН

Аннотация. Представлена методика организационно-технологического моделирования (ОТМ) для разделов организационно-технологической документации (ОТД) с применением цифровых средств. Описаны нормативные требования к ПОС и ППР и принципы построения 3D/4D информационных моделей. Методика включает: структуру ОТМ, алгоритмы увязки решений через визуальное программирование (ВП), механизмы выявления и коррекции коллизий между базовой моделью ПОС и локальными моделями ППР, а также правила визуализации в среде информационного моделирования, что обеспечивает параллельную разработку моделей, согласование решений и повышение качества документации.

Ключевые слова: организационно-технологическое моделирование, 4D-моделирование, цифровые технологии проектирования, информационное моделирование, визуальное программирование, организационно-технологическая документация, проект организации строительства, проект производства работ, технологические карты, организационно-технологические решения, контроль качества.

MODERN APPROACHES TO ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL MODELING OF BUILDINGS AND STRUCTURES DESIGN

© Elmurzaev Abukhan Magomedovich

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences

Abstract. A methodology for organizational and technological modeling (OTM) of organizational and technological documentation (OTD) using digital tools is presented. The regulatory requirements for the Construction Organization Plan (COP) and the Work Execution Plan (WEP) and the principles for building 3D/4D information models are described. The methodology includes the OTM structure, decision-linking algorithms via visual programming (VP), collision detection and resolution mechanisms between the COP base model and local WEP models, and visualization rules in an information modeling environment, ensuring parallel model development, decision coordination, and improved documentation quality.

Key words: organizational and technological modeling, 4D modeling, digital design technologies, information modeling, visual programming, organizational and technological documentation, construction organization plan, work execution plan, process charts, organizational and technological solutions, quality control.

Введение

Процесс организационно-технологического проектирования завершается созданием комплексных технических решений, которые документируются через специализированную проектную документацию и цифровые модели. Основу этой системы составляют три ключевых элемента:

– ПОС с возможным включением проекта организации работ по демонтажу (ПОР);

– ППР, создаваемый в подготовительный период строительства;

– дополнительные регламентирующие материалы, содержащие методики организации производственных процессов и технологии выполнения строительно-монтажных операций.

Разработка ПОС и ППР регламентируется рядом нормативно-технических документов, включая МДС 12-46.2008 [1], МДС 12-81.2007 [2], МДС 12-43.2008 [3], СНиП 1.04.03-85 [4, 5], СП 48.13330.2019 [6], а также постановление Правительства Российской Федерации № 87 [7].

Ключевым нормативным актом, определяющим состав и содержание раздела ПОС, является постановление № 87, в котором установлено требование разработки графической части в виде календарного плана и стройгенплана (СГП).

СП 48.13330.2019 определяет ключевые виды организационно-технологической документации (ОТД) в строительстве, а МДС 12-29.2006 [8] устанавливает требования к содержанию технологических карт. Временные нормативы для планирования продолжительности работ содержатся в СНиП 1.04.03-85 и МДС 12-43.2008. ППР разрабатывается на этапе подготовки рабочей документации на основе ПОС, в котором уточняются организационно-технологические решения (ОТР) с учётом особенностей объекта [9].

В современных практиках широко используются трёхмерные (3D) и четырёхмерные (4D) модели, а также ЦИМ. 3D-ЦИМ отражают статическую геометрию площадки и этапов строительства [11, 12] без учёта времени [10], тогда как 4D-модели расширяют их временной привязкой, что позволяет поэтапно моделировать последовательность операций в соответствии с требованиями к ПОС и ППР.

В исследованиях [13, 14, 15] сформулирован комплекс требований к 4D-моделям, разрабатываемым в составе ПОС и ППР.

Среди требований, сформулированных в работе [13], фигурирует использование ПО для 4D-моделирования. Автор выделяет информационную модель СГП (ИМ СГП), в которой отображается ситуация на строительной площадке в определенный момент. Также, автор отметил важность выделения опасных зон производства работ в модели, в частности зон работы грузоподъемных механизмов.

Аналогичный набор требований формулируется в работе [14]. Автор констатирует отсутствие чётких нормативных требований для разработки организационно-технологических решений (ОТР), но предлагает практические рекомендации по созданию моделей. «Информационная модель подрядчика» должна включать логистику строительной техники на площадке, с обязательной проверкой пространственно-временных пересечений её перемещений.

В работах [16, 17, 18] представлены схожие концепции 4D-моделирования, которые заключаются в постепенной детализации 4D-модели по этапам строительства.

В работе [19] представлена методология интеграции технологий информационного моделирования (BIM) и 4D-моделирования для разработки и наглядной визуализации правил безопасности при производстве строительных работ. Основой методологии является поэтапное преобразование традиционной проектной документации в формате 2D-чертежей в параметрическую трехмерную BIM-модель.

Методология внедряет концепцию «sub-BIM» — создание вспомогательных специализированных моделей для детальной отработки отдельных ОТР в области безопасности. Эти sub-BIM-модели интегрируются в общую BIM-модель, объединяясь с ней по пространственным и временным параметрам.

Исследование выявило слабую роль информационной модели ПОС в качестве основы для моделей ППР и технологических карт, а также отсутствие готовых подходов к их взаимодействию и визуализации. Настоящая работа нацелена на создание интегрированной методики формирования ОТМ для всех разделов ОТД с использованием современных цифровых технологий.

Разработка методики

1. Определение структуры ОТМ

Для случаев применения технологии информационного моделирования (ТИМ) состав и содержание ОТМ ПОС и ППР не регламентируется нормативно-техническими требованиями. Однако международный опыт предполагает включение ЦИМ объекта с данными об ОТР, 3D-модели стройплощадки с атрибутивной информацией временной инфраструктуры, календарно-сетевого графика работ и итоговой 4D-модели. Дополнительно используются базы данных техники, персонала и оснастки, а результаты оформляются в виде традиционной документации с 3D- и 4D-моделями как значимым дополнением.

Для разработки ЦИМ, а также её дополнения данными ОТР используются следующие программные продукты: Autodesk Revit, Renga, Graphisoft ARCHICAD, Allplan (Nemetschek Group). Аналогичный набор программного обеспечения применяется для создания 3D-моделей строительной площадки. Для 4D-моделирования наиболее широко используются Autodesk Navisworks и Synchro 4D Pro от Bentley Systems. Следует также отметить отечественное решение 7D Modeler от компании «Открытые ТИМ-системы» для аналогичных задач. Для создания и обработки баз данных технических средств строительства используются табличные редакторы. Чаще всего в практике применяется Microsoft Excel, реже — Microsoft Access или Google Sheets.

Разработка информационной модели ППР для всего объекта без его деления считается интуитивно понятным подходом. Исследования показывают, что основной принцип таких решений основан на использовании данных ПОС как основы для

формирования ЦИМ ППР. С другой стороны, если ЦИМ ППР создаётся для отдельной зоны или комплекса работ, полное копирование данных из ЦИМ ПОС становится избыточным, поэтому каждая модель ППР формируется в отдельной изолированной среде. При этом возможны конфликты ОТР между ЦИМ ППР и ЦИМ ПОС, между разными ЦИМ ППР, а также несоответствие визуализации 2D-чертежей, 3D-сцен и 4D-моделей элементам исходной ЦИМ ПОС.

Для устранения перечисленных проблем рекомендуется использовать вспомогательную базовую модель, выполняющую функцию координации ОТР и обеспечивающую визуализацию элементов, не входящих в область моделирования ППР. (Рис. 1).

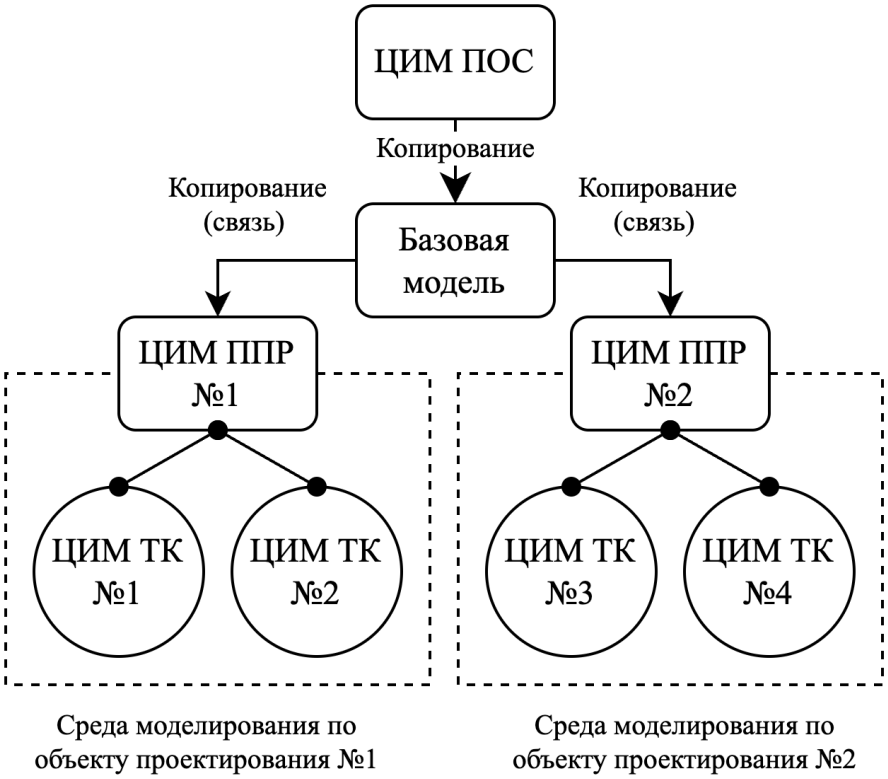

Рис. 1. Принцип изолирования среды моделирования для нескольких частей объекта проектирования (или комплексов работ)

Для эффективного построения системы следует выделить три основных принципа:

– базовая модель, являющаяся копией ЦИМ ПОС, служит для координации ОТР и визуализации на всём проекте;

– каждая ЦИМ ППР является ограниченной версией базовой модели, соответствующей конкретной зоне работ;

– в состав ЦИМ ППР включается модель технологических карт (ЦИМ ТК) с детализацией по типам работ.

Параллельная разработка нескольких ЦИМ ППР и ЦИМ ТК ускоряет подготовку ОТД, но требует строгого контроля согласованности ОТР и надёжного взаимодействия между моделями. Интеграция данных из разных сред обеспечивает целостность информации, расчётов и визуализации в 3D-/4D-средах. При изменении параметров

временной инфраструктуры, потребностей в ресурсах или численности рабочих следует чётко разграничить этапы выявления, корректировки и финальной верификации изменений.

Для успешного выявления изменений расчеты необходимо производить в взаимосвязанной системе на основе компонентов ЦИМ. Для расчёта организационно-технологических показателей выделяют два основных фактора: время (основанное на данных графика работ) и тип задачи (объём и специфика работ). Эти факторы являются первичными, а все остальные показатели выводятся через них. Чтобы связать показатели с моделью, в её компонентах заполняют идентификаторы типов работ, указывающие на шаблоны из БД, а временные параметры получают из графика. Общие идентификаторы обеспечивают двустороннюю связь модели и графика.

Лучше всего для таких расчётов подходят средства визуального программирования, позволяющие гибко адаптировать скрипты под разные задачи.

При обнаружении коллизий разработчики ППР совместно решают, корректировать ли отдельные ППР-модели или базовую модель. Для финальной верификации скрипт визуального программирования извлекает из моделей необходимые показатели, повторно выполняет расчёты и сравнивает результаты (например, при изменении площади временного складирования скрипт получает текущую и пересчитанную площади и сопоставляет их).

2. Определение инструментов визуализации ОТР

Визуализация ОТР необходима не только для точного отображения элементов модели, но и для выявления пространственно-временных коллизий в процессе проектирования.

Корректное отображение объектов модели обеспечивается через инструмент ЦИМ, связывает модели, загружая одну как «трёхмерную подложку» в другую, а средства визуализации позволяют гибко настраивать показ элементов связанной модели в соответствии с задачами проектирования. Кроме того, в 3D-пространстве со связанными моделями обеспечивается наглядное представление всей стройплощадки при принятии ОТР. Это особенно важно при изменении размеров и расположения объектов СГП, поскольку визуализация позволяет сразу обнаружить потенциальные коллизии.

Иногда из-за крупных или сложных объектов стандартные 3D-инструменты не позволяют выявить коллизии, и тогда применяют специализированные средства проверки геометрии и скрипты визуального программирования в среде 3D-ЦИМ. С другой стороны, для анализа пространственно-временных пересечений временной инфраструктуры, зон работ или неверной последовательности операций используют 4D-моделирование или математические модели, обрабатывающие данные графика и ЦИМ-компонентов.

При разработке экспозиционных 3D-сцен и 4D-моделей для ППР и ТК рекомендуется придерживаться следующих правил:

Использовать полутоновое отображение графики для связанных моделей;

Использовать прозрачность связанных моделей при разработке 4D-анимаций;

Использовать упрощенной отображение (LOD 100) для объектов связанных моделей, не оказывающих прямое влияние на ОТР ППР.

Таким образом за счет механизмов представления данных улучшается наглядность визуализации ОТР.

Выводы

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. Проведен обзор ключевых источников в области ОТМ на разных этапах проектирования, выявлена нехватка отработанных решений для описания ролей моделей, организации их взаимодействия и визуализации.
2. Предложена методология и сформулированы фундаментальные принципы для совместной разработки нескольких моделей ППР.
3. Разработаны рекомендации по визуализации данных при наличии нескольких моделей ППР и ТК.

Методика представлена в виде концептуального решения. Экспериментальная проверка представленной методики запланирована на следующих этапах исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. МДС 12-46.2008 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ / ЗАО "ЦНИИОМТП". М.: ОАО "ЦПП", 2009 год.
2. МДС 12-81.2007 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ / ЦНИИОМТП. М.: ФГУП ЦПП, 2007 год.
3. МДС 12-43.2008 Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений / ЗАО "ЦНИИОМТП". М.: ОАО "ЦПП", 2008 год.
4. СНиП 1.04.03-85* Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. Часть I. (Общие положения. Раздел А) / Официальное издание Госстрой СССР. М.: АПП ЦИТП, 1991 год.
5. СНиП 1.04.03-85* Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. Часть II. (Разделы Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, Приложение) / Официальное издание Госстрой СССР -М.: АПП ЦИТП, 1991 год.
6. СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 [Электронный ресурс]. М.: Минстрой России, 2019. 112 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293722/4293722445.htm (дата обращения: 18.05.2025);
7. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. N 87 "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию" (с изменениями и дополнениями)
8. МДС 12-29.2006. Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты. – М.: ЦНИИОМТП, ФГУП ЦПП, 2007.
9. Методические рекомендации по составу и содержанию проектов производства работ / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». Москва: ФАУ «ФЦС», 2017. 294 с. Текст: непосредственный.

10. Kolarić S., Vukomanović M., Ramljak A. Analyzing the level of detail of construction schedule for enabling site logistics planning (SLP) in the building information modeling (BIM) environment //Sustainability. 2022. Т. 14. – №. 11. – С. 6701.
11. Skjelbred S., Fossheim M. E., Drevland F. Comparing different approaches to site organization and logistics: multiple case studies //23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth: Australia, 2015. С. 13-22.
12. Birewar R. P. Generative design for construction site layout planning: дис. – Purdue University, 2021.
13. Вайсман С. М., Байбурин А. Х. Разработка организационно-технологических решений в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) //Вестник южно-уральского государственного университета. серия: строительство и архитектура. 2016. Т. 16. №. 4. С. 21-28.
14. Гущина Ю. В., Немухина Т. А., Данахов А. А. Перспективные направления организационно-технологического проектирования в строительстве с использованием BIM-технологий //Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. 2020. С. 21-27.
15. Байбурин А. Х., Кочарин Н. В. Применение цифровых технологий в строительстве // Челябинск. Т. 20. 20 с.
16. Butkovic B., Heesom D. Towards a framework for multi-LOD 4D BIM simulations // WELCOME TO DELEGATES IRC 2017. 2017. 578.
17. Boton C., Kubicki S., Halin G. 4D/BIM simulation for pre-construction and construction scheduling. Multiple levels of development within a single case study //Creative Construction Conference 2015. 2015.
18. Igwe C., Hammad A., Nasiri F. Using lean construction tools and 4D modelling for equipment workspace planning //Proc., CSCE Annual Conf. Gløshaugen, Norway: Group for Lean Construction. 2019.
19. Azhar S., Behringer A. A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan //Proceedings of the 49th ASC Annual International Conference. 2013. С. 212-219.
20. Murtazaev S. A. et al. Evaluation of organizational and technological design indicators of the object using modern digital models //Journal on Innovation and Sustainability RISUS. 2025. Т. 16. №. 1. С. 115-130.
21. Муртазаев С-А.Ю., Эльмурзаев М.А., Муртазаев И.С-А. Автоматизации расчета отдельных разделов проекта организации строительства с использованием средств визуального программирования. МИЛЛИОНЩИКОВ-2024. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2024» с международным участием, 30 мая 2024 г. Россия, Чеченская Республика, г. Грозный; ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, 2024 г. С 156-163.

REFERENCES

1. MDS 12-46.2008 Methodological Recommendations for the Development and Execution of a Construction Organization Project, a Demolition (Dismantling) Work Organization Project, and a Work Production Project / ZAO TsNIIOMTP. Moscow: OAO TsPP, 2009.

2. MDS 12-81.2007 Methodological Recommendations for the Development and Execution of a Construction Organization Project and a Work Production Project / TsNIIOMTP. Moscow: FSUE TsPP, 2007.
3. MDS 12-43.2008 Standardization of the Duration of Construction of Buildings and Structures / ZAO TsNIIOMTP. Moscow: OAO TsPP, 2008.
4. SNiP 1.04.03-85* Standards for the Duration of Construction and the Backlog in the Construction of Enterprises, Buildings, and Structures. Part I. (General Provisions. Section A) / Official Publication of the USSR Gosstroy. Moscow: APP TsITP, 1991.
5. SNiP 1.04.03-85* Standards for Construction Duration and Backlog in Construction of Enterprises, Buildings, and Structures. Part II. (Sections B, C, D, E, F, G, H, I, Appendix) / Official Publication of the USSR Gosstroy - Moscow: APP TsITP, 1991.
6. SP 48.13330.2019. Construction Organization. Updated Version of SNiP 12-01-2004 [Electronic Resource]. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2019. 112 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293722/4293722445.htm (accessed: 18.05.2025);
7. RF Government Resolution No. 87 of February 16, 2008 "On the Composition of Design Documentation Sections and Requirements for Their Content" (with amendments and additions)
8. MDS 12-29.2006. Methodological Recommendations for the Development and Design of a Flow Chart. Moscow: TsNIIOMTP, FSUE TsPP, 2007.
9. Methodological Recommendations for the Composition and Content of Work Production Projects / Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation, Federal Center for Norm Setting, Standardization, and Conformity Assessment in Construction. Moscow: FAU "FTSS", 2017. 294 p. Text: direct.
10. Kolarić S., Vukomanović M., Ramljak A. Analyzing the level of detail of construction schedule for enabling site logistics planning (SLP) in the building information modeling (BIM) environment //Sustainability. 2022. T. 14. – no. 11. – P. 6701.
11. Skjelbred S., Fossheim M. E., Drevland F. Comparing different approaches to site organization and logistics: multiple case studies //23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth: Australia, 2015. pp. 13-22.
12. Birewar R. P. Generative design for construction site layout planning: dis. – Purdue University, 2021.
13. Weisman S. M., Bayburin A. Kh. Development of organizational and technological solutions in construction using information modeling (BIM) technologies // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. 2016. Vol. 16. No. 4. pp. 21-28.
14. Gushchina Yu. V., Nemukhina T. A., Danakhov A. A. Promising directions of organizational and technological design in construction using BIM technologies // Actual problems and prospects for the development of the construction complex. 2020. pp. 21-27.
15. Bayburin A. Kh., Kocharin N. V. Application of digital technologies in construction // Chelyabinsk. Vol. 20. 20 p.
16. Butkovic B., Heesom D. Towards a framework for multi-LOD 4D BIM simulations // WELCOME TO DELEGATES IRC 2017. 2017. 578.

17. Boton C., Kubicki S., Halin G. 4D/BIM simulation for pre-construction and construction scheduling. Multiple levels of development within a single case study //Creative Con-struction Conference 2015. 2015.
18. Igwe C., Hammad A., Nasiri F. Using lean construction tools and 4D modeling for equipment workspace planning // Proc., CSCE Annual Conf. Gløshaugen, Norway: Group for Lean Construction. 2019.
19. Azhar S., Behringer A. A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan // Proceedings of the 49th ASC Annual International Conference. 2013. pp. 212-219.
20. Murtazaev S. A. et al. Evaluation of organizational and technological design indicators of the facility using modern digital models // Journal on Innovation and Sustainability RISUS. 2025. Vol. 16. No. 1. pp. 115-130.
21. Murtazaev S-A. Yu., Elmurzaev M.A., Murtazaev I.S-A. Automation of the calculation of individual sections of a construction organization project using visual programming tools. MILLIONSHCHIKOV-2024. Proceedings of the VII All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "MILLIONSHCHIKOV-2024" with international participation, May 30, 2024. Russia, Chechen Republic, Grozny; GGNTU named after academician M.D. Millionshchikov, Grozny, 2024. Pp. 156-163.