

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Рыбакова Ангелина Олеговна

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭТАПЕ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ
КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Каган Павел Борисович

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	15
1.1. Анализ существующих способов архитектурно-строительного проектирования и управления проектными работами	15
1.2. Анализ проектирования и строительства модульных объектов.....	30
1.3. Анализ применения технологии информационного моделирования в архитектурно-строительном проектировании	43
1.4. Основные понятия и положения модульного проектирования.....	55
1.5. Выводы по главе 1	60
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	64
2.1. Отличительные особенности разработки информационной модели с использованием модульных элементов	64
2.2. Методология представления модульного элемента как параметрического компонента средств информационного моделирования зданий 72	
2.3. Понятие Информационной модели модульного элемента максимальной готовности (ИМЭМГ)	78
2.4. Формирование параметров ТИМ-блоков для разработки типовых ИМЭМГ	84
2.5. Методологические основы моделирования на основе модульных элементов максимальной готовности	91

2.6.	Выводы по главе 2	98
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЭМГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ		
		100
3.1.	Оценка рациональности и эффективности использования МЭМГ ..	100
3.2.	Разработка модели классификации модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ)	118
3.3.	Алгоритм построения комплексной информационной модели на основе применения модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ)	125
3.4.	Методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования на предпроектном и проектном этапах .	136
3.5.	Выводы по главе 3	142
ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАКСИМАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ		
		145
4.1.	Практическая апробация методики автоматизированного построения информационной модели на основе типовых ТИМ-блоков модульных элементов максимальной готовности	145
4.2.	Оценка эффективности результатов проектирования центров обработки данных на основе МЭМГ	156
4.3.	Перспективные направления дальнейших исследований	160
4.4.	Выводы по главе 4	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		163
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ		166
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ		168
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		169

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЗУЛЬТАТ РАНЖИРОВАНИЯ ГРУПП КРИТЕРИЕВ	195
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. РЕЗУЛЬТАТ РАНЖИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ	196
ПРИЛОЖЕНИЕ В. СООТВЕТСТВИЕ ТИМ-ФУНКЦИЙ И ЗАДАЧ МОДУЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНДЕКСОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. АКТ О ВНЕДРЕНИИ (ООО «АМДТЕХНОЛОГИИ») ..	199
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. АКТ О ВНЕДРЕНИИ (ООО «ИВЛИОН»).....	200
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. АКТ О ВНЕДРЕНИИ (ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ»)	201

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Строительство задает темп экономического развития каждой страны и является весомым сектором экономики. Строительная отрасль считается одной из стратегических отраслей экономики России. Однако, на данный момент строительство в нашей стране имеет ряд серьезных проблем, которые тормозят развитие отрасли, одна из которых: длительный жизненный цикл продукции строительного производства. Время возведения и эффективность эксплуатации во многом определяется качеством принятых на начальной стадии проектных решений. Удачные или неудачные решения могут соответственно повлиять на непосредственное строительство здания, на последующие годы эксплуатации и на весь жизненный цикл в целом.

Однако важнейшие решения часто принимаются без должной проработки и соответствующего обоснования, а также без применения новейших автоматизированных комплексов, которые могут как улучшить качество проектов, так и сократить сроки. Возникает необходимость разработки методик и инструментов, которые смогут обеспечить повышение эффективности как проектных решений, так и качества итогового строительного продукта, с обязательным соблюдением заданных сроков.

На сегодняшний день имеется ряд возможностей сокращения сроков строительства, однако эти способы реализуются не на основе проектирования элементов максимальной готовности, а также без достаточного применения средств автоматизации.

Технологии информационного моделирования зданий (BIM) и технологии модульного строительства на сегодняшний день являются важнейшими и наиболее перспективными направлениями развития строительной отрасли не только в России, но и в мире. Несмотря на фундаментальные различия данных подходов проектирования и строительства, BIM и модульные технологии достаточно взаимосвязаны и в

перспективе могут интегрироваться для максимизации прибыли, сокращения сроков выполнения работ, уменьшения рисков возникновения дефектов, а также упрощения некоторых проектных процессов.

Следовательно, актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью исследования взаимосвязи совместного использования BIM-технологий и модульного проектирования с целью повышения эффективности архитектурно-строительного проектирования.

Степень разработанности темы исследования.

Основные принципы технологии и организации строительства быстровозводимых и блочно-модульных объектов исследовали российские ученые: Амбарцумян С.А., Афанасьев А.А., Баркалов С.А., Воробьев В.А., Грабовый П.Г., Завадскас Э-К.К., Зеленцов Л.Б., Киевский Л.В., Король Е.А., Лapidус А.А., Лебедев В.М., Маилян Л.Р., Мищенко В.Я., Молодин В.В., Олейник П.П., Сычев С.А., Теличенко В.И., Ширшиков Б.Ф., Шеина С.Г., Шрейбер А.К. и др., а также зарубежные ученые: Chua Y.S., Fernando S., Kamali M., Mohammada M. F., Qiu Y., Ruoqiang A., Schneiderb G. F. и др.

Значительный вклад в развитие технологий информационного моделирования зданий внесли российские ученые: Гинзбург А.В., Евтушенко С.И., Железнов М.М., Кузина О.Н., Наумов А.Е., Опарина Л.А., Павлов А.С., Синенко С.А., Талапов В.В. и др., а также зарубежные: Koutamanis A., Issa Raja R.A., Eastman C.M., Teicholz P., Sacks R., Liston K. и другие.

Однако существующих исследований недостаточно для формирования универсальных методик, которые включают в себя теоретическую базу и инструменты для практической реализации модульных объектов различного назначения. Отсутствуют методики применения существующих инструментов информационного моделирования для модульных зданий.

Концепция блок-модульного автоматизированного проектирования успешно используется в электронике и машиностроении. В строительстве подобных инструментов информационного моделирования на сегодняшний день не существует.

Научно-техническая гипотеза заключается в предположении, что возможно повышение эффективности архитектурно-строительного проектирования за счет использования технологий информационного моделирования для строительства зданий из модульных элементов.

Целью исследования является разработка теоретических и практических основ архитектурно-строительного проектирования зданий из модульных элементов с использованием технологий информационного моделирования.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Анализ современного состояния архитектурно-строительного проектирования с использованием модульных элементов.
2. Формирование параметров ТИМ-блоков для разработки типовых моделей модульных элементов максимальной готовности (ИМЭМГ).
3. Разработка алгоритма определения рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей (ТЭП).
4. Оценка эффективности использования инструментов информационного моделирования (ТИМ) для ключевых задач проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности.
5. Разработка алгоритма построения комплексной информационной модели на основе применения модульных элементов максимальной готовности.
6. Разработка методики проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования.
7. Внедрение результатов исследования. Оценка эффективности проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования.

Объектом диссертационного исследования является архитектурно-строительное проектирование на основе модульных элементов с использованием технологий информационного моделирования.

Предметом диссертационного исследования является процесс архитектурно-строительного проектирования в условиях цифровизации строительной отрасли.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

Разработаны теоретические и практические основы реализации модульных проектов на базе функциональных возможностей и средств информационного моделирования, а именно:

1. Предложена модель структуры ТИМ-блока и параметры типовых ИМЭМГ.
2. Разработан алгоритм оценки рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей (ТЭП).
3. Разработана методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования.

Теоретическая значимость результатов работы:

1. Сформирована модель структуры ТИМ-блока и его параметров для разработки ИМЭМГ.
2. Предложен алгоритм оценки рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей, который позволяет на предпроектном этапе оценить целесообразность использования модульного проектирования для рассматриваемого объекта строительства.
3. Разработана методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования, включающая в себя как оценку

рациональности применения модульного проектирования, так и формирование итоговой модели.

Практическая значимость результатов работы:

1. Выполнена оценка эффективности использования основных инструментов информационного моделирования (ТИМ) для ключевых задач модульного проектирования.

2. Разработан алгоритм для построения комплексной информационной модели объекта на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием средств автоматизации ТИМ.

4. Предложена OLAP-модель управления данными информационных моделей объектов капитального строительства, которая позволяет не только систематизировать информацию о будущем объекте и проектные данные, но и выполнять обработку и анализ данных информационной модели и составляющих ее ИМЭМГ.

Указанные результаты исследования могут применяться проектными организациями для предварительной оценки эффективности применения МЭМГ, а также принятия рациональных проектных решений при проектировании модульных зданий.

Практический эффект от внедрения результатов работы заключается в сокращении сроков проектирования и возведения объектов строительства за счет скорейшего ввода объекта в эксплуатацию без ущерба качеству производства. Использование вышеописанных положений позволяет выполнить предварительную оценку будущих проектных решений, а также упростить процесс проектирования.

Достоверность результатов исследования подтверждена путем сравнения выполнения проектных работ аналогичных объектов строительства двумя различными способами: традиционно и на основе использования информационных моделей модульных элементов максимальной готовности согласно разработанным теоретическим и практическим положениям.

Практическая апробация разработанных положений проводилась при проектировании объекта Центра обработки данных в ООО «АМДтехнологии».

Методология и методы исследования.

Методологической основой диссертации являются исследования российских и зарубежных авторов в области информационного моделирования строительных объектов, способов и подходов организации проектирования и строительства, существующих направлений повышения эффективности строительства, комплектно-блочного и блок-модульного строительства, методов оценки эффективности, а также законодательные акты в области архитектурно-строительного проектирования и информационного моделирования.

В качестве инструментов исследования использовались следующие методы научного познания: анализ, синтез, классификация, формализация, математическое моделирование, экспертная оценка и анализ.

Личный вклад автора диссертации заключается:

- в постановке цели и задач научного исследования;
- в формировании модели структуры ТИМ-блока и его параметров для разработки ИМЭМГ с определением атрибутов и учетом уровней детализации;
- в определении ключевых задач модульного проектирования и основных инструментов информационного моделирования для их решения, а также в получении результатов оценки их интеграции;
- в формировании алгоритма оценки рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей;
- в формировании алгоритма для построения комплексной информационной модели объекта на основе применения ИМЭМГ, а также разработке программной реализации ТИМ для автоматического построения модели;

– в разработке методики проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования;

– в формировании OLAP-модели управления данными информационных моделей объектов капитального строительства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель структуры ТИМ-блока и параметры типовых ИМЭМГ.
2. Оценка рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей (ТЭП).

3. Оценка эффективности использования инструментов информационного моделирования (ТИМ) для ключевых задач проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности.

4. Алгоритм построения комплексной информационной модели на основе применения модульных элементов максимальной готовности.

5. Методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена:

– применением научных методов исследования;
– использованием трудов отечественных и зарубежных авторов в области информационного моделирования, а также положений модульного проектирования и строительства;

– использованием базовых инструментов информационного моделирования для решения ключевых задач проектирования на основе ИМЭМГ;

– успешной апробацией и внедрением основных результатов работы.

Апробация результатов исследования.

Основные положения диссертации были изложены на следующих научно-практических конференциях:

- XXII International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019), April 18-21, 2019, Tashkent, ТIIAME;
- Первая национальная конференция «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования», Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 30 сентября 2020 г.;
- XXIV International Scientific Conference on Advance In Civil Engineering «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2021), April 22-24, 2021, Moscow, MGSU;
- International Scientific Conference «Building life-cycle management. Information systems and technologies», November 26, 2021, Moscow, Moscow, MGSU;
- XXV International Scientific Conference on Advance In Civil Engineering «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2022), April 20-22, 2022, Moscow, MGSU;
- V Международная научно-практическая конференция «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры» (BIMAC 2022), 20-22 апреля, 2022, Санкт-Петербург, СПбГАСУ;

Внедрение результатов исследования было выполнено в ООО «АМДтехнологии», ООО «Ивлион», ООО «ДВК-Дорстрой».

Публикации.

Основное содержание работы по теме диссертации изложено в 12 научных работах, в том числе 4 публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 4 работы в научных изданиях, индексируемых международной реферативной базой SCOPUS и 4 иные публикации.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части, включающей 4 главы, заключения, списка сокращений и условных

обозначений, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 201 страница, работа содержит 36 рисунков, 23 таблицы и 7 приложений. Список литературы насчитывает 192 наименования.

Общая методологическая схема диссертационного исследования представлена на рисунке 1.

Содержание диссертации соответствует п. 3, 5, 9 паспорта специальности 2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства:

3. Исследование и формирование методов разработки, видов обеспечения, критериев, моделей описания и оценки эффективности решения задач управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием технологий информационного и математического моделирования, системного анализа, автоматизации и оптимизации принятия решений.

5. Исследование и разработка методов и алгоритмов использования и управления данными информационных моделей объектов капитального строительства на всех этапах их жизненного цикла, включая: сбор, хранение, обработку, интеграцию и передачу данных, их мониторинг, актуализацию и анализ, валидацию и верификацию. Исследование и разработка моделей информационных процессов и структур, алгоритмов визуализации, трансформации и анализа информации, синтеза виртуальной и дополненной реальности.

9. Теоретические и методологические подходы к техническому нормированию и регулированию процессов организации, управления и информационного моделирования объектов капитального строительства и строительных систем на всех этапах.

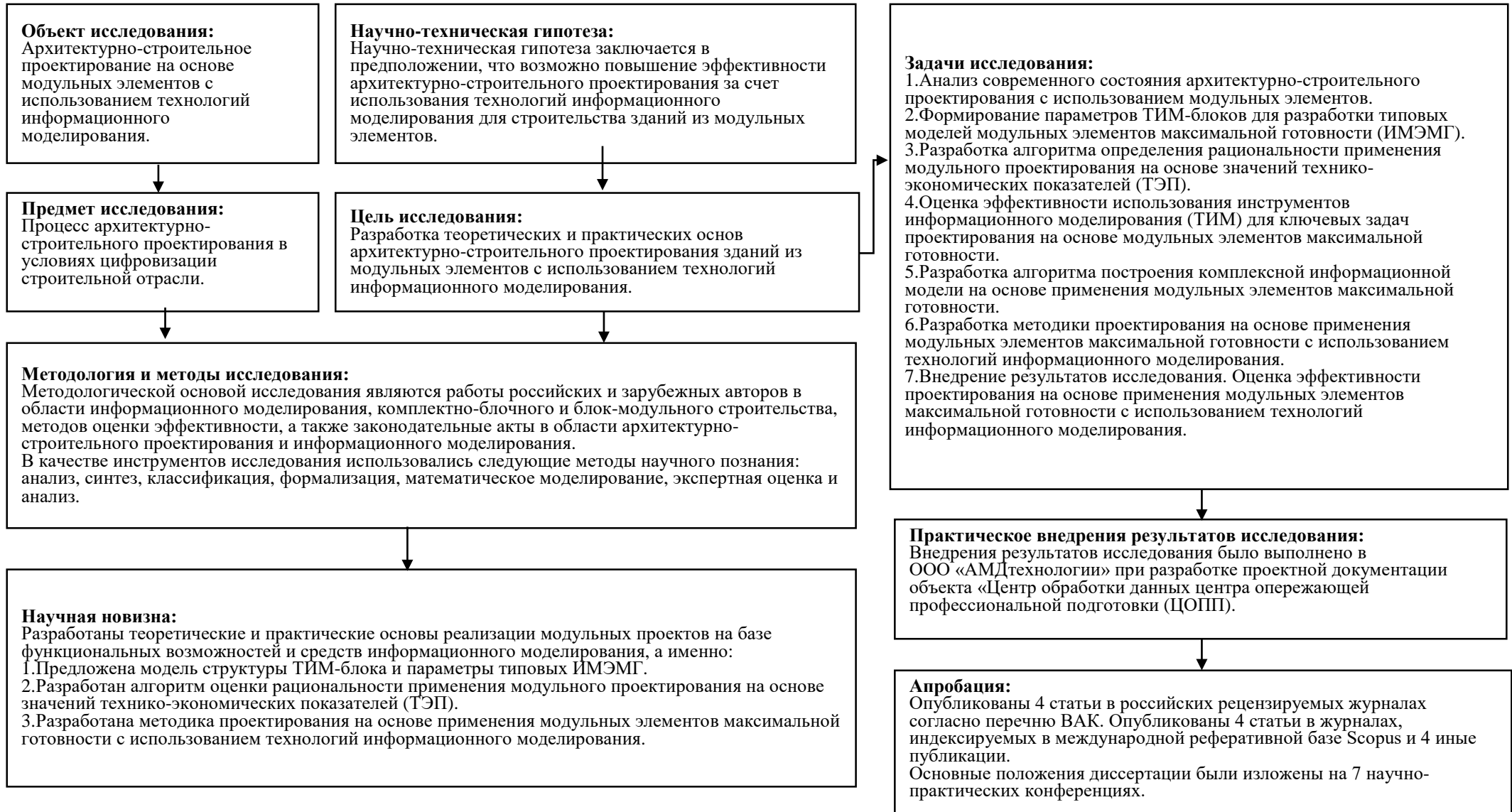


Рис. 1 – Методологическая схема исследования

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.1. Анализ существующих способов архитектурно-строительного проектирования и управления проектными работами

Проектирование — это разноплановый процесс, направленный на формирование основных характеристик необходимого объекта и его составляющих на основе детализации и систематизации данных, составления расчетов и принятия решений по основным функциям и характеристикам объекта. Целью любого процесса проектирования является проект, как совокупность документации, отражающий замысел автора. Понятие проекта и проектирования используется в различных сферах деятельности человека, в том числе и в строительной отрасли.

Архитектурно-строительное проектирование (или проектирование зданий и сооружений) – разработка проектно-сметной документации для выполнения строительно-монтажных работ для возведения объекта капитального строительства. Процесс проектирования – один из основополагающих этапов строительства любого объекта. На данном этапе принимаются решения, оказывающие влияние на надежность и функционирование объекта в течение всего жизненного цикла объекта.

Архитектурно-строительное проектирование осуществляется путем подготовки проектной документации, рабочей документации, которая определяет архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства и реконструкции объектов капитального строительства, их

частей, в границах принадлежащего застройщику или иному правообладателю земельного участка [1], [2], [3].

Разработкой проектной документации занимается несколько смежных, но узконаправленных специалистов, где каждый решает ряд задач в рамках своей компетенции с учетом установленных норм и стандартов. Также разработка проекта ограничивается деятельностью других специалистов, типом и назначением объекта, климатическими особенностями и инженерными характеристиками. Следовательно, способы и подходы к проектированию разного рода объектов капитального строительства существенно отличаются по форме работы и результативности [4].

Комплексное проектирование – это выполнение полного комплекса проектных работ для строительства или реконструкции конкретного объекта. Согласно Постановлению Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 г. «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», комплексное проектирование – это разработка всех разделов проектной документации, в том числе расчеты параметров, стоимость, материалы, оборудование, организация работ [5], [6], [7].

Проектная документация на любой объект капитального строительства включает в себя 12 разделов, совокупность которых представляет полноценный информационный комплекс о будущем объекте, на основе которого выполняются строительно-монтажные и пусконаладочные работы, а также работы по дальнейшей эксплуатации (рис. 1.1).

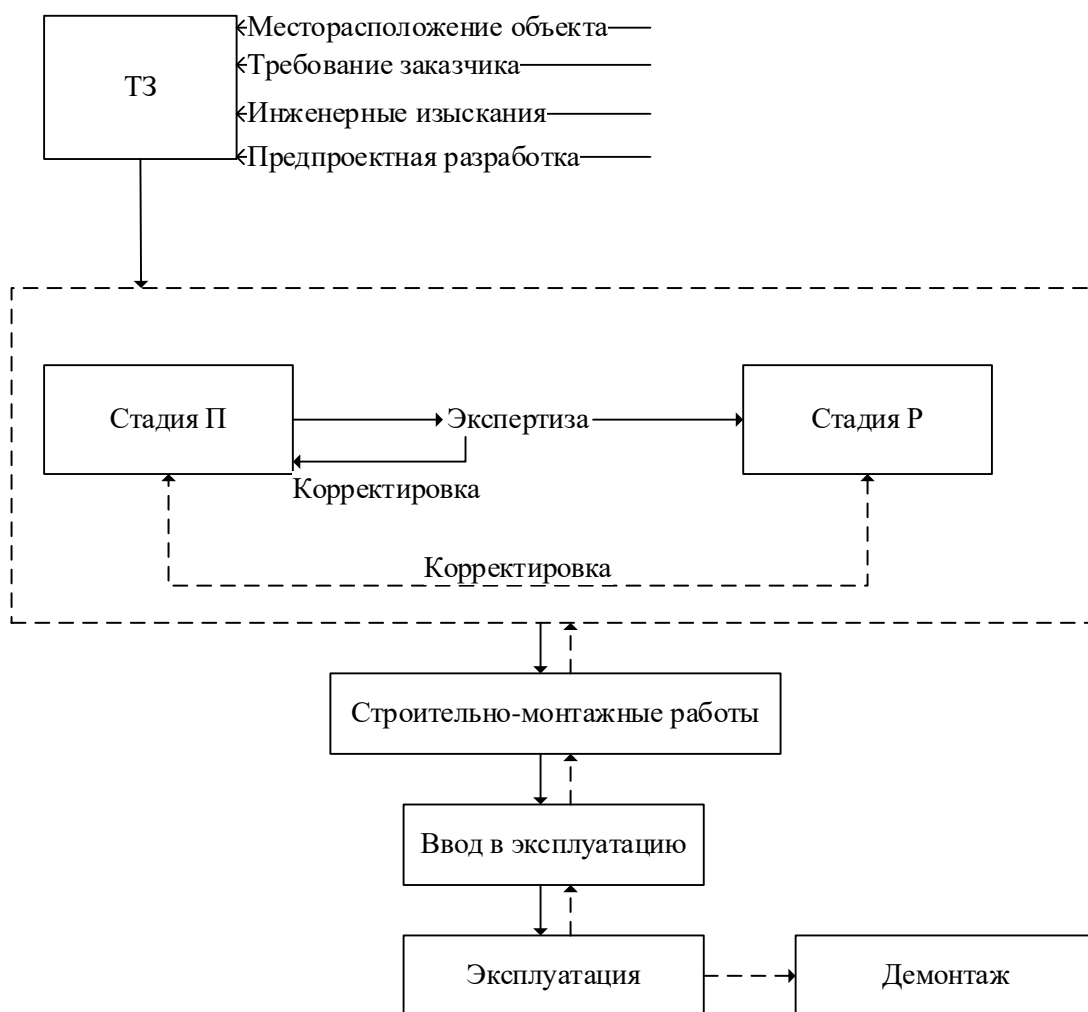


Рисунок 1.1 – Обобщенное представление жизненного цикла объекта строительства

Несмотря на универсальность понятия проектирования, существует несколько способов и подходов к выполнению проектных разработок с учетом специфики и назначения будущего здания. Каждый способ ориентирован на определенную группу будущих объектов, что дает в каждом случае различные временные, финансовые или технологичные результаты [8], [9].

1.1.1. Традиционное комплексное проектирование

Традиционное комплексное проектирование – это интегрированный подход проектирования, который включает в себя творческое применение теоретических знаний с учетом нормативной документации, опыта

специалистов и функционирования будущего объекта. При данном формате проектирования происходит объединение нескольких видов деятельности в один большой процесс, цель которого – получение полноценного проекта.

С точки зрения практической реализации комплексное проектирование, в общем случае, представляется как инженерное творчество, опыт и квалификация проектировщиков в строгих рамках исходных данных, нормативно-правовых норм, физических, финансовых, урбанистических и временных ограничений. В случае частного проекта, т.е. одного из разделов проектной документации, добавляются еще и ограничения в виде проектных решений других разделов или изысканий [10], [11].

Как правило, данный подход используется при проектировании технически сложных и уникальных зданий и сооружений, включающем: значительное количество исходных данных, высокий уровень спорных вопросов в начале проектных работ, частые корректировки и изменения в процессе [12], [13]. Главной отличительной особенностью традиционного комплексного подхода является отсутствие шаблона и эталонного решения, так как каждый объект уникален технически, технологически, конструктивно и территориально (рис. 1.2).

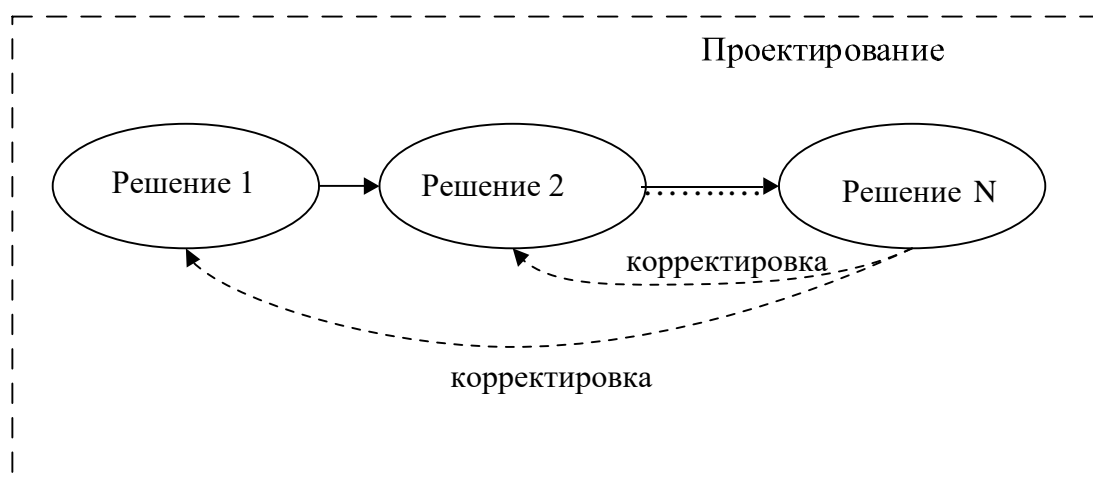


Рисунок 1.2 – Традиционное комплексное проектирование

Основным недостатком подхода является итоговая длительность проектирования. Помимо этого, возникает высокая вероятность ошибок,

которые усложняют получение положительного заключения государственной экспертизы и разрешения на строительство. Данный подход требует работы опытных проектировщиков, которая минимизирует проблемные ситуации [14], [15], [16].

Ввиду того, что традиционный подход является фундаментальным и первостепенным, влияние эволюции проектирования оказалось минимальным и процессе эволюции сформировались новые подходы [17], [18], [19]. Данный подход практически не использует возможностей современных современных технических средств и возможностей автоматизации и автоматизации проектирования, которые могли бы усовершенствовать его алгоритмы [20].

Комплексное проектирование предусматривает:

а) творческое применение познаний о человеке, природе и обществе в их глубоком взаимопроникновении;

б) соединение теории и типологии архитектуры с проектированием;

в) взаимосвязь с архитектурным проектированием совершенно иной деятельности: конструирования, строительной физики, геодезии, размещения инженерных сетей, планирования и экономики проектирования и строительства;

г) использование данных социологии, климатологии, гигиены, психофизиологии и урбоэкологии [21], [22].

1.1.2. Типовое проектирование

Отсутствие границ в рамках традиционного комплексного проектирования, а также его временные и системные недостатки повлекли за собой развитие новых подходов, один из которых – типовое проектирование.

Типовое проектирование – это проектирование на основе многократного применения одних и тех же проектных решений для различных объектов строительства. Типовым проектом может быть как полный комплекс

документации, так и его часть: конструкция, изделие, деталь или сооружение. Применение типовых проектов способствует развитию унифицированных строительных технологий (рис. 1.3).

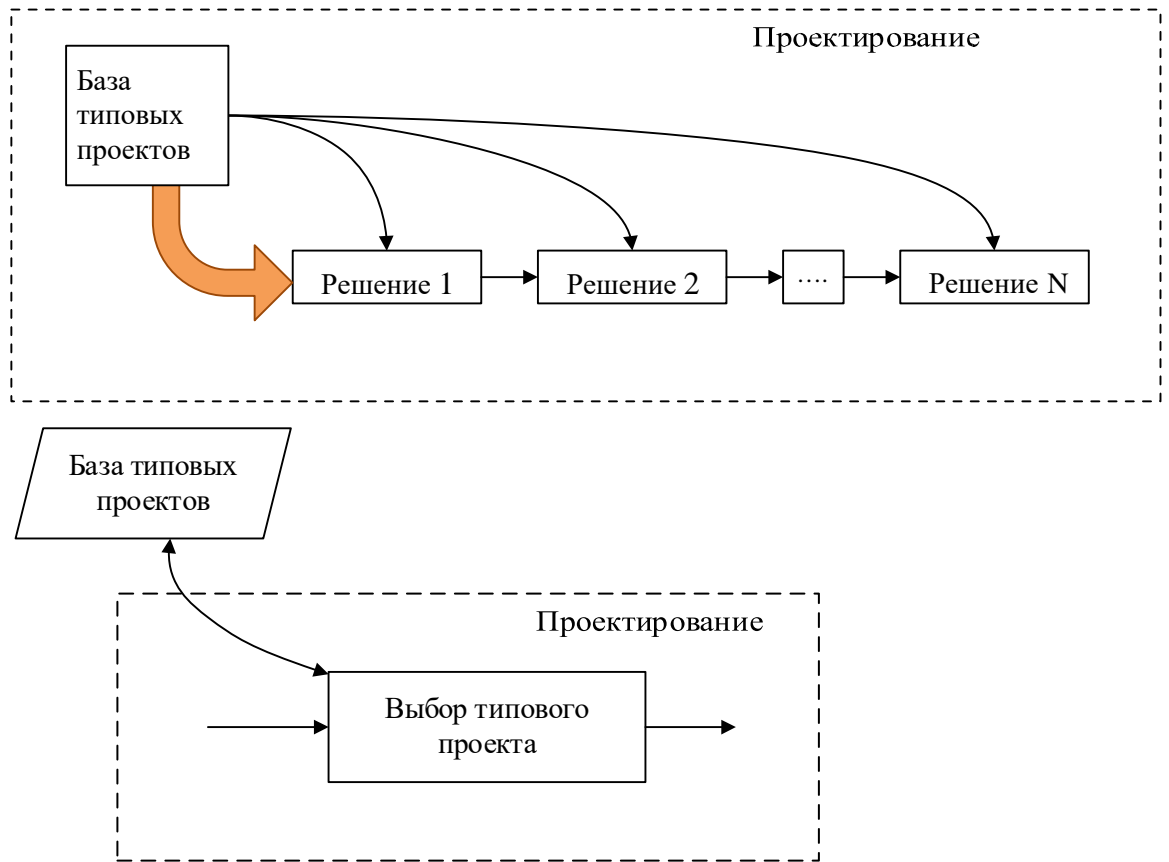


Рисунок 1.3 – Типовое проектирование

После достаточной разработки и аккумуляции типовых проектов в середине XX века в нашей стране за относительно короткий промежуток времени было построено большое количество социально значимых объектов и общественных зданий. За счет экономии времени на проектировании и прохождении экспертизы удалось выстроить систему ускоренной реализации проектов, которые технологически соответствовали требованиям унификации и типизации [23].

На сегодняшний день использование типовых проектов ограничивается индивидуальным жилым строительством, а также временными или сборно-разборного типа зданиями и сооружениями. Спад в распространении типового проектирования обусловлен появлением новых строительных технологий,

общим повышением квалификации заинтересованных специалистов, а также тенденцией к нестандартным дизайнерским решениям по оформлению фасадов и большим вниманием к эстетической целесообразности облика зданий с точки зрения урбанистической, градостроительной и культурно-исторической составляющей местности. Новые способы сокращения времени строительства и требования к объемно-планировочным решениям снижают актуальность типового проектирования в его фундаментальном смысле, однако одновременно стимулируют к совершенствованию и улучшению данного подхода [23].

Основным недостатком типового проектирования является зависимость от условий земельного участка, на котором будет располагаться новый объект. При адаптации проекта к участку необходимо учитывать не только количественные и пространственные характеристики, но и природно-климатические, социально-демографические и национальные характеристики местности в совокупности с инженерно-геологическими и экологическими особенностями [23].

Регулярные изменения нормативно-правовой базы в части конструктивных решений, технологий и безопасности влекут за собой необходимость постоянной корректировки типовых проектов, а также анализа их актуальности.

1.1.3. Вариантное проектирование

Подход, включающий в себя аспекты традиционного комплексного и типового проектирования – вариантное проектирование.

Вариантное проектирование – интегрированный подход к проектированию, основанный на предварительной разработке нескольких равноценных и равнозначных проектных решений, которые отличаются по объемно-планировочным, инженерным и технологическим характеристикам.

Выбор наиболее целесообразного варианта осуществляется путем анализа по заранее сформированным критериям, с учетом требований заказчика и опыта проектировщиков и строителей (рис. 1.4).

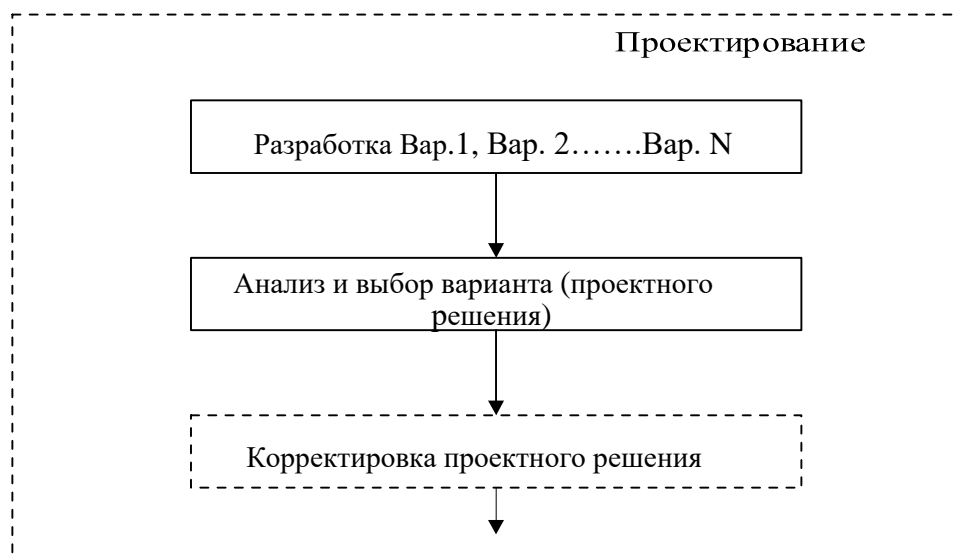


Рисунок 1.4 – Вариативное проектирование

Реализация вариантного проектирования может быть выполнена на основе одной размерности вариантов (рис. 1.5) и двух размерностей (рис. 1.6). При одномерном подходе варианты по нескольким направлениям объединены в одно вариантное решение, при двумерном объемно-планировочные, конструктивные, инженерно-технологические, организационные и другие решения представлены как набор различных вариантов по их назначению, что позволяет выбрать наиболее подходящее проектное решение, как комплекс нескольких специфичных решений. При необходимости эти два направления можно скомпилировать. Выбор того или иного подхода зависит от специфики и назначения объекта, а также уровня его сложности [24]. Степень детализации каждого варианта может быть установлен по требованиям Заказчика или адаптирован к ним.

				Объёмно-планировочное решение
				Конструктив
Вариант 1	Вариант 2		Вариант n	Инженерное решение
				Технологическое решение
				Решение организации строительства
				Другие решения

Рисунок 1.5 – Вариативное проектирование на основе одной размерности

Вар. 1.1	Вар. 1.2	....	Вар. 1.n	Объёмно-планировочное решение
Вар. 2.1	Вар. 2.2	....	Вар. 2.n	Конструктив
Вар. 3.1	Вар. 3.2	....	Вар. 3.n	Инженерное решение
Вар. 4.1	Вар. 4.2	....	Вар. 4.n	Технологическое решение
Вар. 5.1	Вар. 5.2	....	Вар. 5.n	Решение организации строительства
Вар. 6.1	Вар. 6.2	....	Вар. 6.n	Другие решения

Рис. 1.6 – Вариативное проектирование на основе двух размерностей

Вариантный подход проектирования ориентирован на реализацию новых, уникальных проектов средней сложности, не имеющих достаточного количества исходных данных. Необходимость разработки нескольких вариантов обоснована нечеткими требованиями Заказчика, объемно-планировочными, коммуникативными, нормативно-правовыми или финансовыми ограничениями. Вариантность решения может быть как внутренней (выбор планировочного решения), так и внешней (выбор посадки здания относительно существующей инфраструктуры) [25].

Этап выбора наиболее подходящего варианта часто совпадает с уточнением требований технического задания или Заказчика, что в значительной мере упрощает процесс. В результате на основе выбора

дальнейшая разработка проекта продолжается посредством традиционного комплексного подхода [26].

Недостатками данного направления являются сложность формирования потенциальных проектных решений и неопределенность критериев анализа вариантов в совокупности с суммарной длительностью проектирования. Отсутствие универсального алгоритма разработки вариантов и выбора рационального решения усложняет данный подход к проектированию, тем самым сужая множество будущих объектов реализации.

1.1.4. Серийное проектирование

Серийное проектирование основывается на типовом и вариативном проектировании, однако его особенность заключается в ограниченности типовых проектов с минимальной возможностью вариативности. Цель данного способа – производство максимального количества типовых проектов с минимальными дополнительными манипуляциями и корректировкой. Проектные решения, характерные для серийных объектов, достаточно просты и фундаментальны. Дополнительных изысканий для рационализации проекта и его адаптаций не требуется.

Преимущества данного направления заключаются в реализации большого количества функциональных объектов за короткие сроки. Производство объектов максимально сосредоточено за пределами строительной площадки.

1.1.5. Макетно-графическое проектирование

Макетно-графическое проектирование относится в большей степени к архитектуре и художественно-графическим работам, которые играют

ключевую роль в данном проекте. Цель метода – это рациональное взаимодействие различных проектных решений по материалам, композиции, масштабам объектов, элементам зданий и объемно-планировочной организации.

Макетно-графическое проектирование рационально применять при детальной проработке проекта или его составляющих, а также при поиске композиций и творческих идей и выборе наиболее рациональных вариантов.

Одновременно данный метод применим для разработки генеральных планов или планов застройки – горизонтального проектирования и экстерьера. Несмотря на то, что использование метода наиболее свойственно для архитекторов и дизайнеров, в него включены и художественно-графические методики, и пространственное моделирование.

Недостатками данного метода являются его узконаправленность и дополнительные временные затраты. Однако при решении сложных архитектурных вопросов все затраты оправданы.

1.1.6. Модельно-макетное проектирование

Модельно-макетный метод проектирования является узкоспециализированным способом вариативного проектирования. Цель данного метода – проведение эксперимента на основе различных вариантов компоновок и выбор наиболее подходящего. За счет создания объемных моделей и их компоновки в пространстве, можно принять максимально рациональное решение на основе визуального анализа за короткий промежуток времени. Использование подхода часто необходимо для решения архитектурных и объемно-планировочных задач, в большинстве случаев при проектировании промышленных объектов.

Основной недостаток модельно-макетного проектирования – дополнительные временные и финансовые затраты на производство макетов, а также их дальнейшее использование или ликвидацию.

1.1.7. Информационное моделирование

Информационное моделирование зданий или технология информационного моделирования (BIM/ТИМ) – это новый подход проектирования, основанный на разработке трехмерной модели будущего объекта – информационной модели. Процесс информационного моделирования заключается в максимально полноценной разработке информационной модели, от уровня качества которой зависят дальнейшие этапы жизненного цикла будущего объекта.

Информационная модель – это трехмерная модель здания, используемая на протяжении всего жизненного цикла объекта и состоящая из элементов, имеющих количественные и качественные свойства, корректировка которых, с учетом существующих между ними зависимостей, влечет за собой автоматическое изменение всей модели [27].

Инструментальная основа информационного моделирования базируется как внутри одного конкретного программного комплекса, так и на комплексе программ, каждая из которых решает определенную задачу жизненного цикла объекта. Существующие программные комплексы технологий информационного моделирования отличаются интерфейсом, спектром решаемых задач, а также организацией проектных работ.

Информационное моделирование позволяет разрабатывать проекты для абсолютно различных объектов (по сложности, назначению, функциональности, расположению и т.д.). Универсальность функционала обеспечивает возможность адаптации для любого здания или сооружения.

Достоинства информационного моделирования несопоставимы с его недостатками, что доказано в научных трудах ученых [28], [29], [30], [31], [32], [33] и практической реализацией разнообразных проектов в строительной отрасли [34], [35].

Недостатки подхода сводятся только к производственным ограничениям технических средств, необходимости дополнительного обучения большого количества сотрудников, а также необходимости поиска новых методик работы, которые смогут регулярно повышать эффективность проектирования.

Универсальность применения технологий информационного моделирования влечет за собой возможность интеграции подхода в другие процессы жизненного цикла объекта, том числе и в другие подходы. Более подробно анализ информационного моделирования будет изложен в разделе 1.3.

Рассмотренные подходы проектирования были систематизированы в виде таблицы 1.1, что позволило в дальнейшем сформировать направления для усовершенствования проектирования:

Таблица 1.1 – Анализ существующего комплексного архитектурно-строительного проектирования

Проектирование	Объекты	Достоинства	Недостатки	Перспектива
Традиционное комплексное проектирование	Сложные Уникальные	Детальная проработка Уникальность Фундаментальность	Длительность Стоимость Ресурсы Ошибки	Систематизация Интеграция других подходов
Типовое проектирование	Индивидуальные Распространённые Временные	Скорость Стоимость Аккумуляция опыта	Регулярная актуализация Ограниченность решений Адаптация	Трансфер в ТИМ
Вариативное проектирование	Средней сложности Уникальные	Минимизация ошибок Уточнение требований Альтернатива	Длительность Стоимость Сложность критериев Отсутствие алгоритмов	Автоматизация разработки вариантов

Проектирование	Объекты	Достоинства	Недостатки	Перспектива
Серийное проектирование	Промышленные Распространённые	Скорость Объем производства Производство за пределами строительной площадки	Ограниченность вариантов Сложность корректировки	Расширение проектов Автоматизация корректировок
Макетно-графическое проектирование	Индивидуальные Сложные Уникальные	Минимизация ошибок Альтернатива Дополнительная проверка	Узконаправленность	Применение 3D-печати «Интернет вещей»
Модельно-макетное проектирование	Промышленные Индивидуальные Сложные Уникальные	Минимизация ошибок Уточнение Альтернатива Дополнительная проверка	Временные и финансовые затраты Дальнейшее использование макетов	Применение 3D-печати Повторное использование Универсальность макетов
Информационное моделирование	Любые	N-мерность Скорость Оперативная корректировка	Программное обеспечение Дополнительное обучение Сложность внедрения	Поиск новых методик моделирования Автоматизация

По результатам анализа всех перечисленных подходов проектирования можно сформировать выводы об их функциональности, перспективе развития и распространении среди различных объектов:

1. Каждый подход проектирования ориентирован на определенную группу объектов.
2. Каждый подход имеет свои достоинства и недостатки.
3. Любой подход имеет перспективу для дальнейшего развития.
4. За счет достоинств одного подхода, можно ликвидировать недостатки другого.
5. Технологии информационного моделирования могут быть расширены и распространены.

Следовательно, при объединении преимуществ всех направлений проектирования можно сформулировать положения синергетического подхода проектирования:

1. Повторное использование проектных решений в той или иной форме.
2. Наличие альтернатив и их оперативный анализ.
3. Применение максимального инструментария информационного моделирования.
4. Накопление знаний и опыта предыдущих проектов.
5. Гибкость и адаптация проектов.

Новый подход проектирования можно представить, как «Комплексный», «Комплектный» или «Модульный». Следующим этапом важно сопоставить подход проектирования с последующими строительными работами.

На жизненный цикл объекта влияют как способы выполнения архитектурно-строительного проектирования, так и реализация строительномонтажных работ. Важным фактором в данном случае является рациональное использование методов, охватывающих большее количество этапов жизненного цикла. В данном случае целесообразно проанализировать один из распространённых методов – метод «комплектно-блочного строительства».

1.2. Анализ проектирования и строительства модульных объектов

Повсеместное стремление к индустриализации строительства послужило основанием для создания группы зданий нового типа, возводимых из конструктивных элементов полной заводской готовности. Появлению нового направления в строительстве предшествовали усовершенствование конструкций и строительных материалов – повышение прочности с одновременным уменьшением их массы и объема. В связи с потребностью

организации и производства такого типа зданий получает распространение комплектно-блочный метод строительства [14], [15], [16], [17], [21], [22], [18], [19].

Комплектно-блочный метод строительства – это метод организации строительства объектов из изделий высокой степени заводской готовности в виде блочно-комплектных устройств (БКУ), укрупненных монтажных узлов и заготовок инженерных коммуникаций, поставляемых на объект специализированными предприятиями, основанный на принципах агрегирования ресурсов и организационных структур [36], [37].

Концепция комплектно-блочного строительства основывается на выполнении максимального объема строительно-монтажных работ в заводских условиях с последующей транспортировкой полностью или частично готовых объектов на площадку. Таким образом, нагрузка на строительные площадки значительно снижается [38].

Комплект технологического оборудования поступает с места изготовления в виде полностью готовых к монтажу единиц – блоков. В данном случае блок – это устройство максимальной готовности с учетом габаритных транспортных ограничений [39], [40].

Комплектно-блочный метод строительства применяют при строительстве объектов различного назначения, где технически возможно и экономически целесообразно с целью сокращения трудовых затрат и материальных ресурсов перенести процесс изготовления и сборки на предприятия-изготовители [41].

Комплектно-блочный метод строительства впервые был применен в шестидесятых годах для сооружения сравнительно небольших по габаритам дожимных насосных станций на нефтепромыслах в Татарстане. Вместо производства всего комплекса строительно-монтажных работ по сооружению дожимных станций, размещаемых на значительном удалении друг от друга, на строительной площадке стали выполнять только основание под станцию и работы по установке смонтированного в блок оборудования [42].

Комплектно-блочные здания изначально предназначались для применения в промышленности и различных отраслях народного хозяйства как для выполнения основных функций, так и вспомогательных. В процессе развития и распространения комплектно-блочный метод стал применяться в строительстве общественных и гражданских объектов [43].

Сложность использования комплектно-блочного метода заключается в одновременном соответствии требованиям как общестроительных нормативно-правовых документов, так специализированных стандартов в рамках целевого назначения здания. В связи с этим РД 102-005-88 «Комплектно-блочный метод строительства наземных объектов. Общие требования» предусматривает классификацию комплектно-блочных узлов (блоков) на основе их деления по отраслевой принадлежности и функциональному назначению на четыре уровня [44], [45] (рис.1.7).

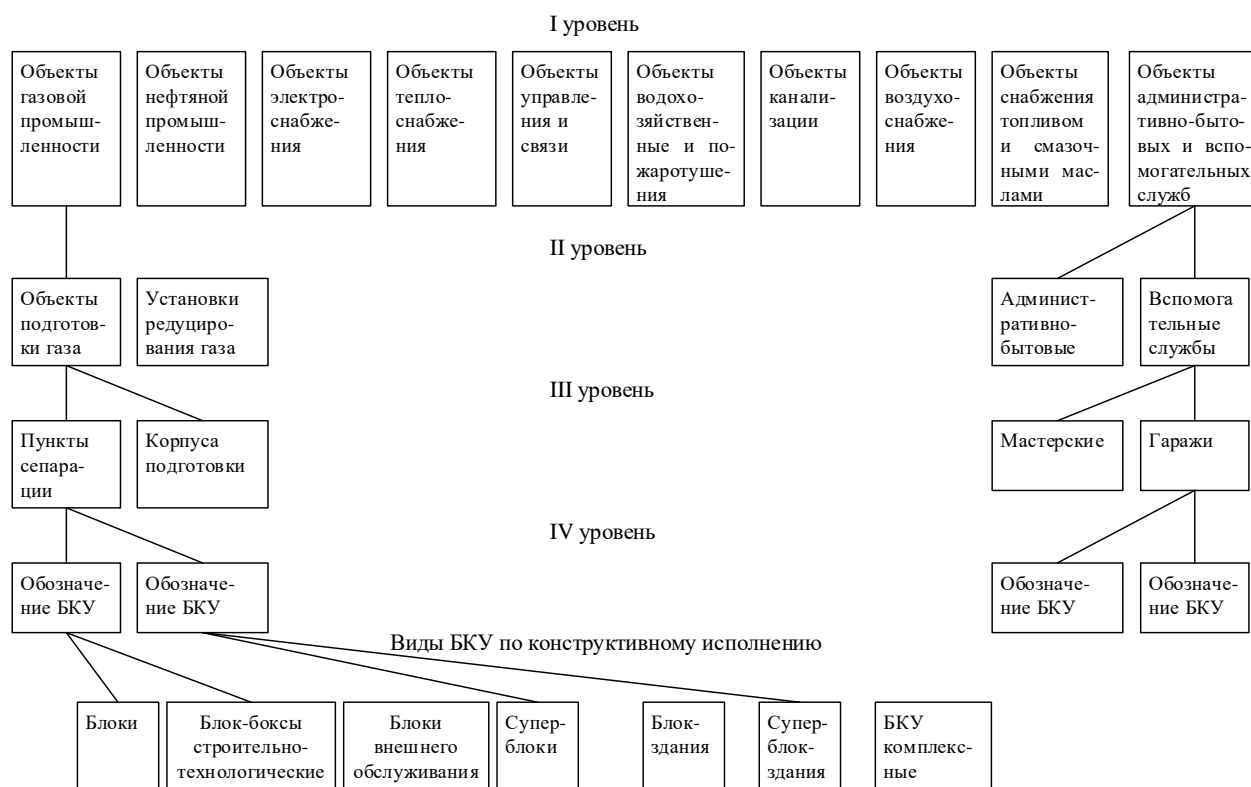


Рисунок 1.7 – Схема классификации БКУ [44], [45]

Уровень I – классификация по отраслевой принадлежности;

Уровни II и III – классификация по функциональному назначению;

Уровень IV – идентификационная часть, т.е. вид БКУ по конструктивному исполнению.

На основании данной структуры можно сделать вывод о том, что независимо от целевого назначения объекта строительства, на самом высоком уровне детализации базовым элементом будет являться различного типа и конструкции БКУ. В данном случае понятие БКУ включает в себя разновидности суперблоков, блок-зданий и суперблок-зданий, основными частями которых являются блок-модули, суперблок-модули, доборные конструкции и межблочные коммуникации [46], [47].

Структурными составляющими БКУ являются функциональные системы, каждая из которых проектируется как одно целое согласно фундаментальным разделам проектной документации (рис. 1.8).

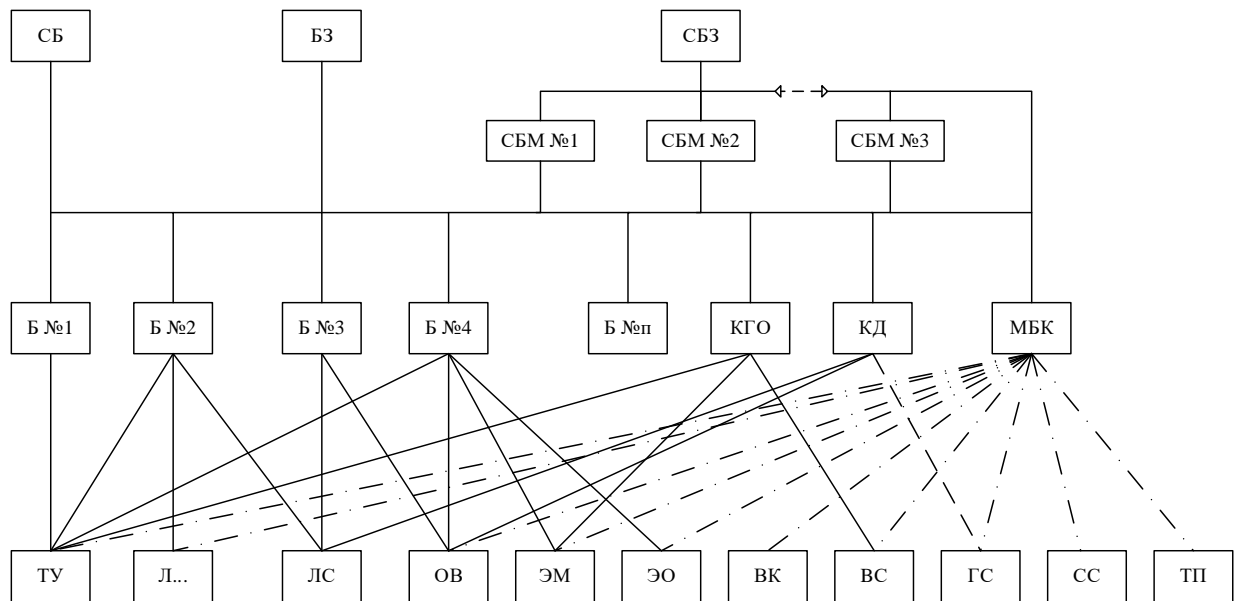


Рисунок 1.8 – Схема здания, суперблоков и суперблок-зданий [44], [45]

Следовательно, объемно-планировочные решения формируются путем аккумуляции различных конструктивных видов БКУ. Вариантность решений основывается на замене одного или нескольких БКУ в общем перечне составных объектов (блоков) [48]. При систематизации БКУ по идентификационным признакам формируется определенный перечень

различных блоков и каталог готовых планировочных решений в рамках производства [49].

Требования к стандартизации и унификации БКУ формируются по функциональному назначению исходя из основных параметров технологических процессов [50], [51], [52], [53], [54].

Унификация БКУ – это комплексная систематизация разноплановых БКУ на базе основных составляющих единиц БКУ: строительных конструкций и вспомогательных функциональных систем. БКУ имеет несколько уровней унификации, и каждому уровню соответствуют определенные объекты унификации [44] (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Унификация БКУ [44]

Уровень унификации БКУ	Объект унификации
БКУ	Объемно-планировочные решения Функциональные системы Составные части
Функциональные системы	Параметры Сборочные единицы Детали Комплекующие изделия Материалы
Составные части (блоки, суперблоки)	Параметры Типы Размеры Конструкция Сборочные единицы Детали Комплекующие изделия Материалы
Сборочные единицы	Параметры Типы Размеры Конструкция Детали Комплекующие изделия Материалы
Детали	Типы Размеры Конструкция Материалы
Комплекующие изделия	Типы Размеры
Материалы	Сортамент Марки

Унификация систем и конструкций формируется путем создания составных частей, которые смогут применяться в БКУ различного функционального назначения. Основные требования к унифицированным элементам: технологичность, надежность, экономичность [55], [44].

При разработке БКУ важно максимально использовать типовые и стандартные изделия, детали и конструкции, применять эффективные сборочные единицы из ранее разработанных проектов или составные части типовых решений. Большое количество вариантов конструкций и элементов для применения на данный момент систематизированы в каталогах нормативной документации и унифицированных сериях производителей [56].

Архитектурно-планировочные решения БКУ, а также решения по компоновке и взаиморасположению обеспечивают [44]:

1. Максимальную степень заводской готовности.
2. Минимальное количество блок-модулей (суперблок-модулей) в составе блок-зданий (суперблок-зданий).
3. Минимальное количество составляющих в комплексном БКУ и рациональный выбор их сочетаний.
4. Минимальные габаритные размеры, строительные объемы и массы.
5. Размещение оборудования в блок-зданиях каркасно-панельного типа и суперблоках не менее чем в два яруса.
6. Расположение центров масс на период транспортирования в пределах, допускаемых правилами транспортирования.
7. Увязку конструкции блоков с объемно-планировочными решениями блок-зданий и суперблоков.
8. Расположение наиболее тяжелого оборудования на первом ярусе.
9. Минимальную протяженность коммуникаций.
10. Удобство эксплуатации, разборки, сборки и замены оборудования при ремонте.
11. Предотвращение пожаров и взрывов при эксплуатации объектов.

Несмотря на перечисленные требования БКУ, при прочих равных условиях приоритет всегда у тех БКУ, которые имеют максимальную степень заводской готовности [50], [51].

Помимо объемно-планировочных ограничений необходимо соблюдать ограничения погрузки используемого вида транспорта: габариты по всем проекциям, особенности транспортных маршрутов, средств и способов транспортировки, характеристики месторасположения объекта и расстояние от места изготовления и сборки до строительной площадки [57], [58].

Способ хранения БКУ на строительной площадке определяется размерами БКУ: крупногабаритные складываются на специально отведенных площадках, а мелкогабаритные – в специальных контейнерах по размеру. При большом количестве различных видов БКУ возможно складирование по назначению или виду [59], [60], [61].

На основе особенностей конструкции БКУ и фундаментальных требований к объектам различного целевого назначения можно сформировать общие принципы проектирования на основе БКУ:

1. Минимизация габаритов БКУ. При разработке БКУ любого типа и назначения целесообразно стремиться к меньшему объему, массе и размерам. Минимальные габариты облегчают процессы доставки, размещения при транспортировке и монтажа. Следовательно, дальнейшее проектирование на основе комплектно-блочного метода требует специальных подходов и методик к конструированию технологического оборудования с учетом миниатюризации БКУ.

2. Максимальная заводская готовность БКУ. Условная зависимость объема выполняемых строительномонтажных работ на площадке обратно пропорциональна объему в заводских условиях. Изготовление БКУ с максимальной готовностью в стационарных условиях позволяет снизить до минимума работы на строительной площадке, в том числе и отделочные работы, а в некоторых случаях даже полностью исключить их [62].

3. Суперблочность. Ввиду того, что не все элементы и оборудование могут быть выполнены в виде готовых единиц, часто возникают ситуации, когда необходимо разделение на отдельные блоки с дальнейшей сборкой непосредственно на объекте строительства. Для упрощения действий с оборудованием на строительной площадке важно придерживаться принципа суперблочности: масштабировать оборудование до полноценного уровня или изначально подбирать полноценные модели [63].

Сложность поддержания данного принципа представляют собой доставка, транспортировка и перемещение суперблоков. Несмотря на ряд существующих вариантов решения данных проблем, максимальное соответствие принципу имеет ряд ограничивающих факторов, работа над устранением которых активно выполняется и является перспективным направлением развития.

4. Неизменяемость БКУ (жесткость и недопустимость деформации). Конструктивные решения БКУ должны быть выполнены в максимально жесткой форме, чтобы при любых манипуляциях с БКУ, в том числе при транспортировке и погрузочно-разгрузочных работах, БКУ не изменяло ни форму, ни другие параметры. При возникновении каких-либо повреждений БКУ будет необходимо выполнять дополнительные ремонтные работы, которые повлекут за собой потерю качества и времени с привлечением дополнительных трудовых и материальных ресурсов. При более серьезных повреждениях БКУ возможна замена устройства с последующими затратами нескольких видов ресурсов.

5. Унификация БКУ. При распространении комплектно-блочного метода и его внедрении в каждый новый объект строительства возникает проблема большого количества различных типов и назначений БКУ. С возрастанием частоты повторного применения при проектировании разных объектов появляется необходимость систематизации и типизации условных моделей БКУ.

Унификация БКУ обеспечивает основу для организации их массового промышленного производства, а также облегчает технологию и организацию монтажных работ. При высоком уровне унификации БКУ, качественном и быстром изготовлении, распространение получают поточные методы строительства, что в будущем оказывает положительное влияние на комплекс организационно-технологических процессов строительства.

6. Минимизация и эффективное использование пространства. При разработке БКУ и их использовании в проектировании важно ориентироваться на минимизацию строительных генеральных планов в будущем. За счет рациональной комплектации и компоновок БКУ уменьшается потребность в большой площади строительной площадки. При наличии каких-либо ограничений относительно расположения можно разработать более эффективный строительный генеральный план за более короткий срок и с минимальными издержками проектирования.

7. Ориентация на объемно-планировочные характеристики производственных и вспомогательных сооружений. Так как идея комплектно-блочного метода берет начало во вспомогательных сооружениях, целесообразно максимально использовать опыт разработок такого вида зданий и сооружений. Характеристики инженерных систем и оборудования невозможно применять в качестве аналога при разработке БКУ, а характеристики объемно-планировочных решений могут положительно повлиять на проектирование: совокупность использования ранее применяемых, проверенных решений и значительного сокращения времени.

8. Повышение условной «готовности» БКУ. Данный принцип – следствие всех вышеперечисленных. Однако помимо первичных технических требований к БКУ, важно учитывать вторичные: повышение единичной мощности блочного оборудования, выполнение отделочных работ, максимальную комплектацию всех видов применяемого оборудования, меблировку и т.д. В зависимости от специфики и назначения объекта строительства, степень необходимости соблюдения данного принципа

варьируется ввиду актуальности и влияния на дальнейшие работы. Максимальная рационализация условной «готовности» БКУ позволяет уменьшить число монтажных единиц, количество рабочих при монтаже, количество эксплуатационного персонала, а также в целом сократить площадь, занимаемую на строительной площадке [62].

Максимальное соблюдение всех вышеперечисленных принципов сократит объем выполняемых строительно-монтажных работ, однако одновременно увеличит объем работ нулевого цикла с учетом повышенной трудоемкости. Следовательно, помимо ориентирования на повышение качества проектирования БКУ, важно искать пути и способы снижения трудоемкости и уменьшения сроков выполнения работ нулевого цикла, в том числе и на этапе проектирования [64].

Распространение комплектно-блочного метода строительства повлекло за собой разделение строительного процесса на два параллельных потока: строительно-монтажные работы нулевого цикла в совокупности с организационно-техническим регулированием и изготовлением, трансфер, монтаж БКУ с частичными пуско-наладочными работами. Оба потока коррелируются между собой по срокам и этапам реализации. В процессе реализации каждого потока в определенной последовательности задействованы подрядные организации: завод-изготовитель, сборочно-комплектное предприятие, транспортные компании и другие.

Следовательно, для полноценного изготовления любого БКУ необходимо выполнить ряд работ по подготовке проектных, конструкторских, технологических, материально-технических, экономических и логистических решений.

Перед разработкой нового БКУ необходимо провести анализ существующих выпускаемых блоков на предмет необходимости и возможности совершенствования. В некоторых случаях целесообразно изготовление образца БКУ с проведением испытаний для выявления

недостатков модели. Далее можно приступать к разработке конструкторской документации [65].

Все потенциальные БКУ должны соответствовать всем требованиям технологичности: техническому заданию, производственно-техническим условиям на всех этапах строительства, требованиям монтажа и будущей эксплуатации, а также уровню качества [53], [54].

В части технологической подготовки, помимо проверки готовности всех задействованных в выпуске БКУ предприятий в рамках установленных ограничений, принимаются решения по уровню детализации БКУ. Степень детализации зависит от специфики объекта строительства и от типа производства. В зависимости от того, является ли производство БКУ серийным или единичным, разрабатывается маршрутная технология соответствующего уровня детализации: описание только основных операций или более подробный алгоритм с разделением на подоперации и переходы.

Задачи подготовки материально-технического обеспечения заключаются в мониторинге качества материалов, сырья или конструкций, а также в своевременности их доставки. Требуемые объемы и их рациональное использование определяются на основании расчетов и решений оптимизационных задач, часто с применением соответствующих программных продуктов.

Для максимально эффективного решения задач материально-технической подготовки важна бесперебойная работа логистической системы. В данном случае многие сбои и нарушения могут зависеть от неподдающихся влиянию внешних систем, перебои в работе которых нельзя предупредить. Однако необходимо работать на минимизацию негативных ситуаций посредством тщательного подбора поставщиков, усиленного контроля, применения современных средств взаимодействия и интеллектуальных систем.

При разработке БКУ с вышеозначенной многоступенчатой подготовкой также необходимо соблюдать баланс между производственной и

экономической эффективностью с учетом уровня бюджета и заданных сроков. Без учета установленных финансовых ограничений на начальной стадии могут возникнуть ситуации превышения бюджета строительства. Последствия таких ситуаций могут быть совершенно непредсказуемыми, они также могут повлечь за собой корректировки проектных решений и выполнение дополнительных работ различного уровня сложности [50], [52], [54].

Помимо базовых основ комплектно-блочного метода, с каждым годом появляются новые принципы и методики, которые формируют процесс развития и распространения метода. Как правило, совершенствование метода направлено на увеличение числа видов объектов строительства и минимизацию каких-либо недостатков или пробелов. Модернизация комплектно-блочного метода в большей степени основана на технологической рационализации самого БКУ и строительной-монтажной части. Меньшее внимание уделяется вопросам улучшения проектных решений и инструментов проектирования, а также организационно-управленческим вопросам.

На новом этапе развития комплектно-блочного метода строительства основная тенденция заключается в разработке и применении крупногабаритных блоков с максимизацией модульности: стремлении к полноценному формату БКУ с минимальными манипуляциями на строительной площадке. На основании этого распространение получают супер-блоки, блок-здания и блок-модули [52], [54].

Одним из серьезных недостатков метода является ограниченность объектов строительства, возводимых посредством комплектно-блочным методом. В основном этот подход используется при возведении временных мобильных зданий, вспомогательных и быстромонтируемых зданий, насосных и компрессорных станций и других промышленных и сельскохозяйственных сооружений. Наиболее распространен метод в строительстве нефтегазовых и нефтедобывающих объектов.

В результате комплексного анализа комплектно-блочного метода строительства, его принципов и инструментов можно сформулировать его особенности, которые представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Анализ комплектно-блочного метода строительства

Достоинства	Недостатки	Направления развития
Высокая скорость строительства	Узкий диапазон типов объектов	Расширение диапазона реализуемых объектов
Экономия ресурсов и материалов	Низкий уровень систематизации узлов	Разработка систематизации и унификации узлов
Снижение нагрузки на строительной площадке	Ограничение заводов-производителей	Разработка и изготовление новых моделей узлов
Основа для поточного строительства и производства	Зависимость от нескольких подрядных организация	Применение новых методов и алгоритмов производства
Возможность рационализации строительной площадки	Затруднение транспортировки	Разработка новых логистических методик и способов транспортировки
Основа для разработки базы типовых объектов	Низкая универсальность элементов и узлов	Разработка и изготовление универсальных типов элементов и узлов
Возможность применения ранее используемых проектных решений	Непопулярность метода	Поиск новых направлений индустриализации для развития метода
Отсутствие зависимости от климатических особенностей	Отсутствие методики проектирования на основе БКУ	Разработка методики проектирования на основе БКУ
Возможность упрощения сложных объектов путем детализации блоков	Минимальное использование средств автоматизации	Внедрение средств автоматизации и новых инструментов проектирования
Возможность типовых решений инженерного обеспечения	Увеличение трудозатрат на нулевом цикле	Разработка новых методик проектирования строительных генеральных планов
Экономическая эффективность		Разработка баз данных элементов, проектных решений, типовых объектов
Ускорение разработки сметной документации		

Комплектно-блочный метод строительства еще не демонстрирует свою максимальную эффективность. Одной из главных причин, сдерживающих его развитие, является отсутствие механизмов и дополнительного функционала. Следовательно, комплектно-блочный метод является перспективным

направлением развития строительного производства, однако существует необходимость поиска и реализации новых адаптированных для этого средств и инструментов [50], [51], [52], [53], [54].

1.3. Анализ применения технологии информационного моделирования в архитектурно-строительном проектировании

В результате Поручения Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 г. № 1235 в целях модернизации строительной отрасли и повышения качества строительства был принят ряд нормативных документов по цифровизации строительной отрасли [66]. Необходимость этого была обоснована распространением информационных технологий в различных направлениях российской экономики, наличием производственных мощностей автоматизации, а также успешным опытом иностранных государств.

В последних редакциях Градостроительного кодекса РФ произошли изменения в требованиях предоставления проектной документации. Помимо определения документации, которая содержит материалы в текстовой форме и в виде карт (схем) и определяет архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства и реконструкции объектов капитального строительства, их частей, капитального ремонта, была введена новая форма – информационная модель [1], [67].

В 1975 году профессором Чаком Истманом (Технологический университет Джорджии) впервые был введен аналог понятия «информационная модель» – «Building Description System» (Система описания здания). В текущем понимании термин появился благодаря сотруднику компании Autodesk Роберту Эйшу. В 1986 году в статье «Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD» он впервые использовал термин

«Building Modelling», а также сформулировал первые принципы информационного моделирования в проектировании. Далее термин «Building Information Modelling» начал получать активное распространение не только в научной литературе, но и в практике [28], [33], [27].

В процессе исследований и накопления знаний в области разработки информационных моделей, появления программного обеспечения и формирования опыта у заинтересованных специалистов появляется новый, более полноценный термин «Технология информационного моделирования» [68].

1.3.1. Развитие технологии информационного моделирования

Технология информационного моделирования – это совокупность взаимосвязанных средств и методов построения информационных моделей. Каждому этапу проектирования соответствует представление модели определенного уровня «зрелости» – стадии разработки, в которой отображена актуальная архитектурная, конструкторская или инженерно-технологическая информация о будущем здании или сооружении.

В процессе развития информационное моделирование расширило свое применение с этапа проектирования на весь жизненный цикл объекта. На сегодняшний день инструменты информационного моделирования обеспечивают возможность решения задач как на стадии предпроектных разработок, так и при эксплуатации. Таким образом, информационная модель в виде цифрового аналога объекта проходит все стадии его жизненного цикла в цифровом пространстве [69], [70].

Основу технологии информационного проектирования формируют следующие фундаментальные принципы [69], [27], [71]:

1. Информационное моделирование является технологией автоматизированного проектирования, которая реализуется посредством компьютера и инструментами соответствующего программного обеспечения.

2. Информационная модель включает в себя не только геометрическую информацию (3D), но и временную (4D) и негеометрическую (качественную) (5D) информацию.

3. Информационная модель формируется из объектов (объектно-ориентирована), поведение этих объектов регулируется наборами параметров (объекты параметризованы).

4. На основе информационной модели можно выполнить экспорт информации в различные формы и виды.

5. Любые изменения в информационной модели влекут за собой изменения всех ее видов и суб-объектов.

6. Использование информационной модели возможно на всех этапах жизненного цикла объекта. Внедрение модели целесообразно на любом из этапов.

Инструменты программных комплексов, реализующих информационное моделирование, можно объединить согласно решаемым задачам и функциональности будущего объекта:

1. Организация структуры проекта. Шаблоны и стили.
2. Команды простого редактирования.
3. Команды сложного редактирования.
4. Инструменты для конструктивных решений.
5. Инструменты инженерного обеспечения.
6. Настройки координат и привязки.
7. Создание примитивных элементов: стены, перекрытия, крыши, окна, двери и т.д.
8. Инструменты концептуального моделирования.
9. Инструменты моделирования окружающей среды.
10. Инструменты группировки и разбиения.

11. Инструменты разработки семейств.

12. Вспомогательные инструменты.

Сопоставляя принципы информационного моделирования и инструменты реализации с перечисленными ранее подходами проектирования, можно сделать вывод, что информационное моделирование может быть также интегрировано в любой другой способ проектирования [71], [72].

1.3.2. Применение технологий информационного моделирования на этапе предпроектных разработок

До момента начала разработки проектной документации Заказчику необходимо провести ряд мероприятий, без которых невозможно приступить к выполнению определенных этапов. В зависимости от характеристик будущего объекта объем работ может отличаться, однако основные задачи неизменны:

1. Разработка технического задания.
2. Сбор исходно-разрешительной документации (ИРД).
3. Инженерные изыскания.
4. Получение технических условий.
5. Эскизный проект.

Применение средств информационного моделирования на данном этапе позволяет рационализировать в разной степени задачи всех стадий. Временные и трудовые затраты минимизируются за счет автоматизации следующих процессов:

1. Цифровизация инженерных изысканий.
2. Моделирование земельного участка.
3. Систематизация и электронный документооборот ИРД.
4. Графическое представление местности.

5. Автоматизация построения эскизов.
6. Визуализация требований Заказчика.
7. Автоматизированная подготовка данных для проектирования.

За счет представления геодезических данных местности в виде информационной модели создается цифровая база, на основе которой формируются необходимые графические данные для разработки документации [73], [74]. Цифровая модель местности одновременно используется как основа генерального плана для разработки объемно-планировочных решений на этапе проектирования. Простейшие эскизные модели с возможностью вариантного анализа упрощают понимание требований заказчика и конкретизацию ТЗ [75], [76].

1.3.3. Применение технологий информационного моделирования на этапе проектных работ

Цифровые данные, полученные на предпроектном этапе, становятся исходными данными для выполнения проектных работ. В процессе проектирования у информационной модели повышается уровень детализации за счет разработки соответствующих разделов. Так как в процессе проектирования задействовано большое количество специалистов, решения которых не только дополняются, но и могут противоречить друг другу, важно организовать проектные процессы максимально эффективно и взаимосвязано [77], [78].

Разработка информационной модели на стадии проектирования – основной и наиболее объемный этап жизненного цикла. Технология информационного моделирования на сегодняшний день позволяет решить большую часть задач, но в различной степени. В зависимости от уровня функциональности инструментария программных комплексов,

специализирующихся на той или иной проектной задаче, объем работы или автоматизации может существенно меняться.

1. Архитектурные решения. В части архитектурных решений программные комплексы имеют максимальный инструментарий. Обусловлено это тем, что начало информационное моделирование берет именно в решении объемно-планировочных задач [79], [80].

На сегодняшний день помимо архитектурных инструментов программные комплексы содержат базы стандартных элементов (дверей, окон, стен и т.д.) с возможностью их корректировки, инструменты визуализации и дизайна [79].

2. Конструктивные решения. Конструктивные решения реализованы менее полноценно, однако в большинстве случаев достаточно для формирования проектной документации. Инструментарий позволяет не только осуществлять графическое представление элементов и конструкций, но и выполнять расчеты и проверки моделей. Недостатком является различное программное обеспечение для проектирования и расчетов. Как правило, моделирование конструктивных решений выполняется на основе архитектурной модели [33], [81].

3. Планировочная организация земельного участка. На основе цифровой модели местности, полученной на предпроектном этапе, выполняется разработка решений генерального плана, планировки земельного участка и организации движения. Технологии информационного моделирования в данной области с недавнего времени получили свое распространение благодаря развитию соответствующего ПО. Инструменты данного программного комплекса позволяют на основе информационной модели формировать топографический и территориальный план, план инженерных сетей, трасс и коммуникаций, сечения и разрезы, генеральный план и геомодель [82].

4. Инженерно-техническое обеспечение. Графическая часть проектов инженерных систем обобщенно содержит оборудование и

трассировку коммуникаций на основе предварительных расчетов с учетом объемно-планировочных решений. Моделирование систем инженерно-технического обеспечения выполняется на основе модели архитектурных и конструктивных решений.

Выполнение проекта посредством информационного моделирования можно реализовывать двумя способами: с помощью специального программного обеспечения или инструментов универсального программного комплекса, например, Autodesk Revit. Специальный программный комплекс, например, MagicCAD, позволяет выполнять полноценную разработку всех инженерно-технологических подразделов с возможностью различного представления и экспорта. Универсальные программы информационного моделирования содержат в себе разноплановый функционал, одновременно в них имеются инструменты для моделирования технологического оборудования. Следовательно, выбор способа проектирования зависит от назначения объекта, требований Заказчика, а также от квалификации разработчиков.

Наличие модели генерального плана позволяет разрабатывать не только внутренние инженерные системы, но и наружные-внутриплощадочные.

5. Сметная документация. Сметная стоимость объекта капитального строительства складывается из стоимости оборудования, строительно-монтажных работ и прочих затрат [83]. Использование информационной модели значительно ускоряет разработку сметной документации за счет автоматизации рутинного анализа спецификаций, ведомостей объема работ, расценок. Поиск, сопоставление, подсчет и другие стандартные процессы при наличии качественной информационной модели выполняются автоматизированно.

Данных модели достаточно для выполнения автоматизированного расчета сметной стоимости стадии проектирования. Проблемой на сегодняшний день является качество самих ценовых параметров: ежеквартальная актуализация показателей, отсутствие цифровизации

нормативных документов, содержащих расценки, и отсутствие расценок на те или иные позиции влекут за собой ручной конъюнктурный анализ [84]. Следовательно, для выполнения смет без участия специалиста (или с его минимальным участием) необходимо усовершенствовать систему нормативов цены строительства [23], [85].

6. Организация строительства. Ввиду того, что проект по большей части содержит план действий по организационным вопросам строительства, наличие информационной модели объекта необходимо информативно или методически. Однако стройгенплан – главный графический документ раздела – можно разработать средствами информационного моделирования и представить в трехмерной модели. Это позволит обосновать или проверить те или иные решения. Основой для стройгенплана является модель местности, разработанная в разделе «Планировочная организация земельного участка» (п. 3) [86], [87].

Наиболее полезная функция технологий информационного моделирования для данного раздела – разработка 4D-модели. Связь модели с временными промежутками календарного плана позволяет оценивать своевременность выполнения работ и корректировать план по необходимости. Также 4D-модель упрощает процедуру технического надзора [87].

7. Другие решения. В разделах, в которых над объектом проектирования напрямую не проводятся манипуляции, наличие информационной модели в любом случае упрощает и ускоряет работу за счет быстрого доступа к интересующей информации об объекте, возможности автоматизированных подсчетов и расчетов, актуализации модели в режиме реального времени. Также благодаря информационной модели существует возможность получения чертежей с различным уровнем детализации.

После разработки всех разделов проектной документации и отражения решений в информационной модели необходимо выяснить, насколько модель полноценна и качественна. Так как разработкой модели занимались несколько человек, важно выяснить насколько различные проектные решения

согласованы между собой, нет ли противоречий между ними. Логические несоответствия без участия человека выявить невозможно, а геометрические можно легко обнаружить соответствующим инструментарием информационного моделирования. За счет автоматизированной проверки модели можно выявить все возможные коллизии или недочеты [33].

Хранение информационной модели, как правило, осуществляется в формате соответствующего программного комплекса. При необходимости трансфера модели используется формат IFC (Industry Foundation Classes, Отраслевые Базовые Классы).

IFC - открытый стандарт для формата представления данных информационной модели в цифровой среде. Используется при транспортировке информационных моделей между различными программными комплексами. Формат IFC повышает эффективность взаимодействия проектной команды, увеличивает производительность, а также позволяет сократить сроки и улучшить качество работы специалистов на всех этапах жизненного цикла [88].

В результате перед отправкой модели для прохождения экспертизы выполняется ее проверка на элементарные ошибки и полноценность, что делает проект более качественным и упрощает работу службе Заказчика и экспертам.

1.3.4. Применение технологий информационного моделирования при прохождении экспертизы

Проведение экспертизы проектной документации с использованием информационной модели упрощает работу как каждого эксперта в процессе проверки, так и соответствующих специалистов в процессе корректировки по замечаниям.

В традиционном формате эксперты в рамках своей компетенции занимаются анализом одного или нескольких разделов проектной документации, т.е. совокупности текстовой и графической информации в виде двумерных чертежей, на соответствие требованиям технических регламентов [1], [69], [89].

Чертежи и схемы представляют собой совокупность графических примитивов, которые несут в себе только геометрический смысл, в то время как информационная модель здания или сооружения состоит из трехмерных элементов – строительных единиц, которые содержат в себе помимо геометрических данных, еще характеризующие их атрибуты. Следовательно, над данными информационной модели возможно проводить автоматизированный анализ.

Технологии информационного моделирования позволяют рационализировать процесс анализа документации за счет представления объекта проверки – информационной модели – в машиночитаемом формате, что позволяет произвести автоматизированную проверку данных будущего объекта [90], [91], [92].

Таким образом, информационная модель дает возможность сократить ряд рутинных действий эксперта за счет соответствующих алгоритмов. Полностью исключить работу эксперта на данный момент невозможно, ввиду большого количества неоцифрованных регламентов и отсутствия требований к «зрелости» модели. Однако выполнить предварительную проверку на коллизии, элементарные несоответствия и небольшие ошибки возможно, что в итоге сократит объем работы экспертам и позволит предотвратить ошибки разработчикам.

Одновременно применение технологий информационного моделирования на данном этапе упрощает процедуру трансфера проектных данных за счет постоянной актуальности модели. Быстрый доступ экспертов к актуальной информационной модели сокращает бюрократические процедуры, минимизирует спорные вопросы смежных разделов, а также

позволяет в режиме реального времени отслеживать корректировку модели согласно замечаниям. Это в итоге оказывает положительный эффект на получение положительного заключения экспертизы по временным затратам и по качеству проекта

1.3.5. Применение технологий информационного моделирования на этапе разработки рабочей документации

Откорректированная по результатам экспертизы информационная модель транспортируется специалистам для рабочей документации. Модель содержит все необходимые данные для разработки. Рабочая документация представляет собой совокупность текстовой и графической информации, которая необходима для непосредственного выполнения строительно-монтажных работ. В состав рабочей документации входят проекты рабочих чертежей, объединенные по видам работ, и документы к ним.

Следовательно, на данном этапе выполняется детализация и доработка некоторых решений проектной стадии. Методология, алгоритмы и инструменты работы аналогичны стадии проектной документации. Т.е. отличие состоит только в проектных задачах. Однако часто возникает проблема отсутствия нетиповых элементов в программном комплексе, что влечет за собой дополнительную проработку отдельных частей проекта. С накоплением опыта проектирования в условиях информационного моделирования у каждого отдельного специалиста, конкретной компании-проектировщика и всей строительной отрасли в целом ситуации такого типа значительно минимизируются и в перспективе могут исчезнуть полностью [93].

Информационная модель после манипуляций стадии рабочей документации в полноценном виде отправляется на дальнейшие этапы жизненного цикла. Дополнительных корректировок над информационной

моделью не предполагается. После утверждения рабочей документации «в производство работ» модель используется в информативных целях, как база данных всей необходимой информации о модели, а также, как исходные данные для визуализации или создания проекта виртуальной реальности при необходимости [90], [91], [92].

1.3.6. Общие вопросы технологий информационного моделирования на этапе подготовки строительства

Несмотря на существующий уровень развития и применения технологий информационного моделирования, имеется ряд проблемных вопросов, которые являются стоп-факторами для улучшения технологии [94]. Сложности, которые являются одновременно направлениями развития, могут являться локальными и глобальными [90], [91], [92]. Обобщенно выделяются следующие направления для усовершенствования технологий информационного моделирования:

1. Трансфер модели между этапами и специалистами.
2. Организация и систематизация проектных данных.
3. Отсутствие типизации проектных решений и документации.
4. Внедрение в проектную деятельность на различных этапах.
5. Эффективная методика и алгоритмы разработки модели, ее наполнения и детализации.
6. Инструментарий для инженерных систем.
7. Экспорт и импорт, взаимодействие со смежным ПО.
8. Повторная корректировка при переходе с этапа на этап.
9. Нецелевая разработка модели.

1.4. Основные понятия и положения модульного проектирования

Модульное производство технических систем – это комплектование разнообразных сложных стандартных и нестандартных комплексов с различными характеристиками и параметрами из сформированного ранее количества типов и типоразмеров модулей [95].

Модуль – автономное, готовое к монтажу изделие. Совокупность модулей образует сложные системы путем соединения, разъединения, замены с целью получения новых комплексов с другими компонентами и характеристиками [95].

Модульный принцип обеспечивает быстрый монтаж, ремонтпригодность, удобство в обслуживании и транспортировке, возможность упрощенной замены одного узла без необходимости монтажа других узлов [96].

Модульное производство набирает популярность в различных технических сферах, а также в отраслях экономики. Для каждого направления деятельности модульность имеет свои характеристики, ограничения и пути развития. Каждое отраслевое инженерное направление имеет свой уровень развития в области модульного производства: например, достаточно распространена модульность в судостроении и одновременно незначительно применяется в капитальном строительстве. Также использование модульности в промышленности различается в разных странах: на сегодняшний день лидер в этой области Китай. Там уже реализовано большое количество высотных зданий, за счет максимального применения модульных элементов в строительстве и их эффективной разработки строительство выполняется в очень короткие сроки [95], [97], [98], [99], [100], [101].

Следовательно, для повышения эффективности строительства в нашей стране целесообразно использовать опыт зарубежных коллег, заниматься усовершенствованием и распространением модульности, искать новые пути

развития и внедрения [95]. Для достижения цели внедрения модулей в строительное производство важно предварительно максимально полно изучить особенности проектирования и строительства на основе модульных элементов [95], [95], [102].

Модульный элемент в строительстве – это комплексная структурная единица, которая аккумулирует в себе свойства и характеристики нескольких элементов строительных конструкций [95]. Система модулей необходима для координации всех конструкций, для взаимозаменяемости и многофункциональности элементов. Для наибольшей эффективности модульных элементов целесообразно создавать модули в виде, требующем минимум дополнительного вмешательства на строительной площадке [95], [103].

Модульный элемент максимальной готовности в строительстве – это заранее изготовленный из различных материалов полноценный элемент строительства, обладающий наивысшей степенью готовности для монтажа. Как правило, такие элементы производятся в заводских условиях, затем транспортируются на строительную площадку, где и происходит их поочередное внедрение в конструкцию объекта. Модуль включает в себя необходимые архитектурные и конструктивные характеристики, инженерные решения, оборудование и, при необходимости, варианты внутренней и наружной отделки. Разработанные варианты модулей можно комбинировать между собой для создания новых проектов. Один и тот же модульный элемент может использоваться по-разному в различных объектах строительства [95], [102] (рис. 1.9-1.10).

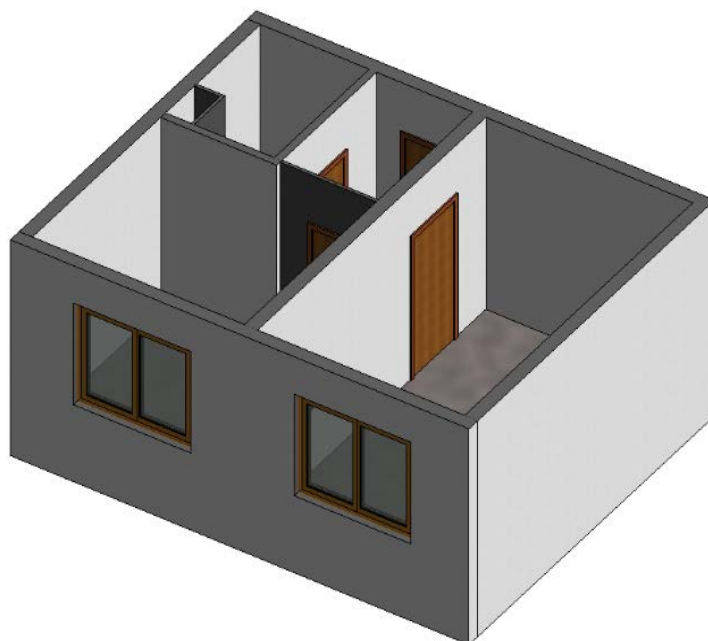


Рисунок 1.9 – Пример модульного элемента максимальной готовности [95]

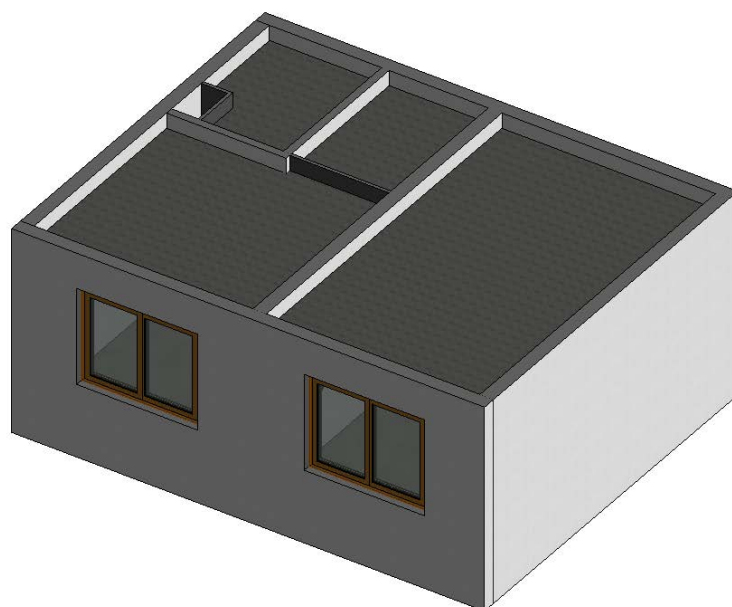


Рисунок 1.10 – Пример модульного элемента максимальной готовности [95]

Модульный принцип строительства значительно ускоряет производство, а при рациональном монтаже еще и упрощает его. Однако для максимизации преимуществ важно уменьшить время на разработку материалов, транспортировку блоков и их рациональное хранение на площадке. Максимальный размер блока также ограничен производственными мощностями завода и ограничениями при транспортировке и монтаже (габариты и вес) [95], [102].

Один из наиболее важных моментов модульного принципа – это качественная предварительная разработка модулей. Для эффективного использования модулей необходимо на этапе проектирования оперировать множеством блоков, которые имеют подходящие характеристики, альтернативные варианты, классификацию и систематизацию. От уровня разработки модулей и их количества зависит объем возможных вариантов планировок, инженерных решений и способа их реализации [95], [95].

Другим важным моментом является наличие инструментария как для разработки модулей, так и для полноценного проектирования. Ввиду специфики данного принципа целесообразно применение технологий информационного моделирования. На сегодняшний день самый подходящий программный комплекс для данного вида работ – Autodesk Revit. Его функционал позволяет максимально эффективно за короткий промежуток времени разработать проект, а также при необходимости экспортировать его в другое программное обеспечение [95].

Предполагается, что для каждого модуля Autodesk Revit будет создано Revit-семейство, сборка или группа с необходимыми геометрическими и инженерными характеристиками – основной строительный трехмерный блок в Revit. Итоговая информационная модель проекта будет представлять собой интегрированный комплекс семейств-модулей. Каждая информационная модель, разработанная по принципу модульности, будет являться одной из возможных комбинаций библиотеки модулей [95] (рис.1.11).

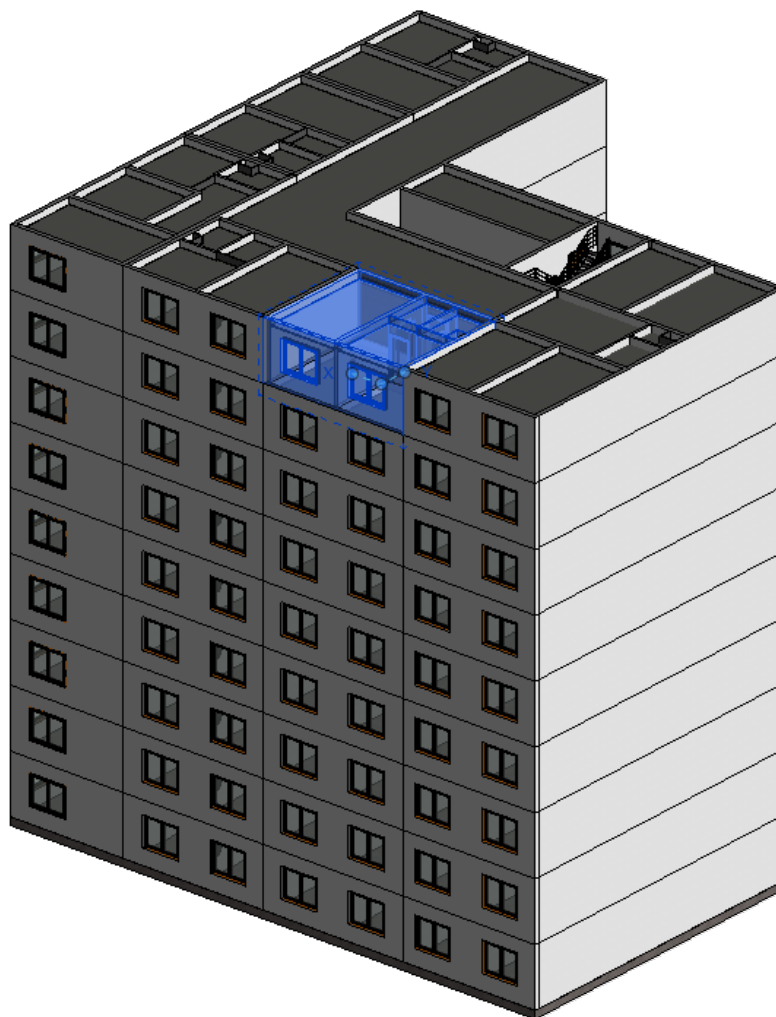


Рисунок 1.11 – Формирование информационной модели [95]

Максимизация количества ТИМ-модулей – основа большого количества потенциальных альтернативных вариантов информационных -моделей объекта. Для эффективного проектирования на основе модулей необходимо одновременное совершенствование классификации и систематизации блоков, а также расширение библиотеки. Однако одним из важнейших аспектов качественного модульного проектирования является алгоритм разработки. Процесс проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности значительно отличается от традиционного проектирования, что способствует модернизации процессов информационного моделирования [95].

В совокупности с технологическими возможностями информационного моделирования проектирование на основе заранее разработанных

«элементарных функциональных единиц» гипотетически может сформировать новую методологию проектирования различных объектов. Однако для подтверждения данного предположения необходимо определить технологическую и производственную возможность, временную и финансовую целесообразность, а также наличие научной информационной базы, на основе которой выполнять практические и теоретические исследования [104].

Следовательно, в следующих главах будут рассмотрены основные понятия, теоретические и методологические основы, алгоритм проектирования на основе существующих средств информационного моделирования, а также будет оценена ожидаемая эффективность данного метода проектирования.

1.5. Выводы по главе 1

1. Выполнен анализ основных процессов архитектурно-строительного проектирования, играющих важную роль в системе всего жизненного цикла объекта. Главная цель проектирования – разработка проектной документации – может быть достигнута различными способами. Определены принципиальные подходы архитектурно-строительного проектирования с точки зрения управления проектными работами. Каждый подход имеет свои достоинства и недостатки, которые его характеризуют. В результате их изучения, в том числе изучения особенностей информационного моделирования, сформулированы перспективы развития и совершенствования проектирования и строительства.

2. Выявлено, что перспективы развития архитектурно-строительного проектирования основываются на интеграции нескольких подходов проектирования, при условии внедрения технологий информационного моделирования, т.е. формировании синергетических подходов. На основе

особенностей каждого подхода и его функциональных преимуществ образуются новые базовые принципы повышения эффективности проектирования, и, как следствие, строительства. Предположительно, за счет преимуществ одного способа ликвидируются недостатки другого, что может значительно усовершенствовать проектирование. При рассмотрении всех подходов и направлений можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным является условный «Комплексный» или «Модульный», т.е. включающий в себя систему субэлементов.

3. Установлено, что одновременно с подходами архитектурно-строительного проектирования на жизненный цикл объекта влияют способы производства строительных работ. Важным моментом в данном случае является рациональная взаимосвязь способов проектирования и строительства. В данном случае метод «комплектно-блочного строительства» соответствует основным перспективам реализации проектирования на основе конструктивных элементов полной заводской готовности. Следовательно, целесообразно рассмотреть метод «комплектно-блочного строительства» для выявления теоретических и практических основ с целью применения в условиях проектирования на основе элементов максимальной готовности.

4. По результатам анализа комплектно-блочного проектирования сформулированы основные положения, характеризующие особенности строительства на основе комплектно-блочных элементов. Данное направление включает в себя не только аспекты проектных процессов, но и комплекс методов организации строительства. Комплектно-блочный подход формирует определенные ограничения в работе, тем самым образует новые способы решения проектных задач. На основе нормативно-правовой базы в области комплектно-блочного строительства выделены базовые понятия и принципы работы в рамках соответствующих объектов: классификация, структура БКУ, унификация, систематизация и правила взаимодействия. В результате анализа достоинств и недостатков сформулированы перспективы и способы интеграции с другими инструментами проектирования.

5. Был проведен анализ применения информационного моделирования на всех стадиях архитектурно-строительного проектирования. Произошедшие в строительном законодательстве изменения способствовали не только укреплению позиций технологий информационного моделирования, но и расширению проектирования. С распространением технологий информационного моделирования увеличилось количество видов объектов проектирования, которые могут быть реализованы данным способом. Информационное моделирование сформировалось, как новый подход проектирования, который направлен не только на решение стандартных задач проектирования, но и на их максимальную автоматизацию.

6. Установлено, что текущие возможности технологий информационного моделирования в различной степени позволяют автоматизировать те или иные процессы не только на каждой стадии проектирования, но и на протяжении всего жизненного цикла здания или сооружения. Различия степени автоматизации проектирования обусловлены уровнем развития функционала по конкретной специализации раздела проектной документации. В рамках жизненного цикла объекта эффективность автоматизации определяется полноценностью трансфера информационной модели, скоростью корректировки и использованием данных.

7. Сформулированы особенности разработки комплектно-блочной информационной модели. Функционал средств информационного моделирования позволяет в полной мере выполнить разработку информационной модели при двухэтапном условии: формировании библиотеки моделей БКУ и разработке комплексной информационной модели. Уровень детализации для первого и второго этапа может быть изменён или установлен, что влияет на эффективность проектирования. Однако необходимо определить наиболее рациональное соотношение степеней детализации на каждом этапе. Следовательно, установление зависимости детализации для комплектно-блочных объектов является важной и перспективной задачей.

8. На основании вышеописанного выдвинута научная гипотеза, заключающаяся заключается в предположении, что возможно повышение эффективности архитектурно-строительного проектирования за счет использования технологий информационного моделирования для строительства зданий из модульных элементов.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

2.1. Отличительные особенности разработки информационной модели с использованием модульных элементов

Изложенные обобщенные особенности технологий информационного моделирования в архитектурно-строительном проектировании могут быть рассмотрены с другой точки зрения: с учетом специфики и назначения объекта. В зависимости от объемно-планировочных и инженерно-технологических характеристик на том или ином этапе проектирования разработка может выполняться по-разному. Однако ввиду того, что на сегодняшний день отсутствуют алгоритмы работы информационного моделирования в рамках соответствия конкретному типу объекта, проектирование выполняется на основе общих принципов информационного моделирования с незначительным ориентиром на тип объекта [105], [106].

Для повышения эффективности технологий информационного моделирования целесообразно дифференцировать работу согласно типу объекта, подходу строительства или технологическим особенностям. Для этого необходимо первоначально сформулировать отличительные особенности интересующей группы объектов [107].

При проектировании в рамках «комплектно-блочного строительства» существуют как технические, так и организационные отличительные признаки. В совокупности с технологией информационного моделирования «комплектно-блочные объекты» приобретают новые свойства, что способствует появлению новых направлений изучения и развития [108].

Согласно иерархии классификации БКУ по конструктивному исполнению (рис. 1.7) существует 7 разновидностей БКУ (IV уровень), которые можно рассматривать, как самостоятельные единицы: блок, блок-блок строительно-технологический, блок внешнего обслуживания, супер-блок, блок-здание, супер-блок здание, БКУ комплексный. Целесообразно выделить данные элементы в совокупности, т.к. для инструментов технологии информационного моделирования не важна отраслевая принадлежность и функциональность [44], [41].

Для представления БКУ внутри программного комплекса информационного моделирования не обязательно полное соответствие классификации [90], [91], [92]. Необходимо установить основные критерии для уровней детализации, по которым будут разработаны информационные модели [44], [45]. С точки зрения компоновки и установки блоков целесообразно их разделить по самостоятельности, в зависимости от того возводится ли полноценное здание или его часть. Для удобства разработки можно разделить по наполняемости. Стандартные объемно-планировочные и визуальные характеристики устанавливаются в зависимости от функционала программного комплекса [44] (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Сопоставление элементов БКУ и инструментов информационного моделирования

Уровень унификации БКУ	Объект унификации	Инструмент информационного моделирования
БКУ	Объемно-планировочные решения	Архитектурные инструменты Инструменты редактирования Инструменты концептуального моделирования
	Функциональные системы	Инструменты инженерных систем Надстройки от производителя
	Составные части	Архитектурные инструменты Инструменты редактирования Инструменты семейств или объектов

Уровень унификации БКУ	Объект унификации	Инструмент информационного моделирования
Функциональные системы	Параметры	Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров
	Сборочные единицы Детали Комплекующие изделия	Инструменты семейств или объектов Надстройки и база от производителя Инструменты концептуального моделирования
	Материалы	Настройки материалов Визуализация Инструменты концептуального моделирования
Составные части (блоки, суперблоки)	Параметры Типы	Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров
	Размеры	Архитектурные инструменты Инструменты редактирования
	Конструкция	Конструктивные инструменты Архитектурные инструменты Инструменты редактирования Импорт объектов Инструменты семейств или объектов
	Сборочные единицы Детали Комплекующие изделия	Инструменты семейств или объектов Надстройки и база от производителя Инструменты концептуального моделирования Инструменты группировки и объединения
	Материалы	Настройки материалов Визуализация Инструменты концептуального моделирования
Сборочные единицы	Параметры Типы	Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров
	Размеры	Архитектурные инструменты Инструменты редактирования
	Конструкция	Конструктивные инструменты Архитектурные инструменты Инструменты редактирования Импорт объектов Инструменты семейств или объектов
	Комплекующие изделия Детали	Инструменты семейств или объектов Надстройки и база от производителя Инструменты концептуального моделирования
	Материалы	Настройки материалов Визуализация Инструменты концептуального моделирования
Детали	Типы Размеры	Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров

Уровень унификации БКУ	Объект унификации	Инструмент информационного моделирования
		Импорт объектов
	Конструкция	Инструменты редактирования Импорт объектов Инструменты семейств или объектов
	Материалы	Настройки материалов Визуализация Инструменты концептуального моделирования
Комплекующие изделия	Типы Размеры	Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров Импорт объектов
Материалы	Сортамент Марки	Настройки материалов Визуализация Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров Импорт объектов

Независимо от направления и уровня унификации БКУ посредством информационного моделирования возможно реализовать абсолютно любой БКУ [44]. Инструментарий охватывает все составные элементы БКУ, часть инструментов и функций решает одновременно несколько задач. Следовательно, возможности технологий информационного моделирования позволяют разрабатывать полноценные БКУ, а также их составляющие. При необходимости можно управлять детализацией, тем самым повышая универсальность БКУ. Моделирование единичного БКУ и моделирование комплексного сооружения на основе БКУ могут быть реализованы в равной степени, что позволяет ускорить процесс проектирования объектов БКУ в целом.

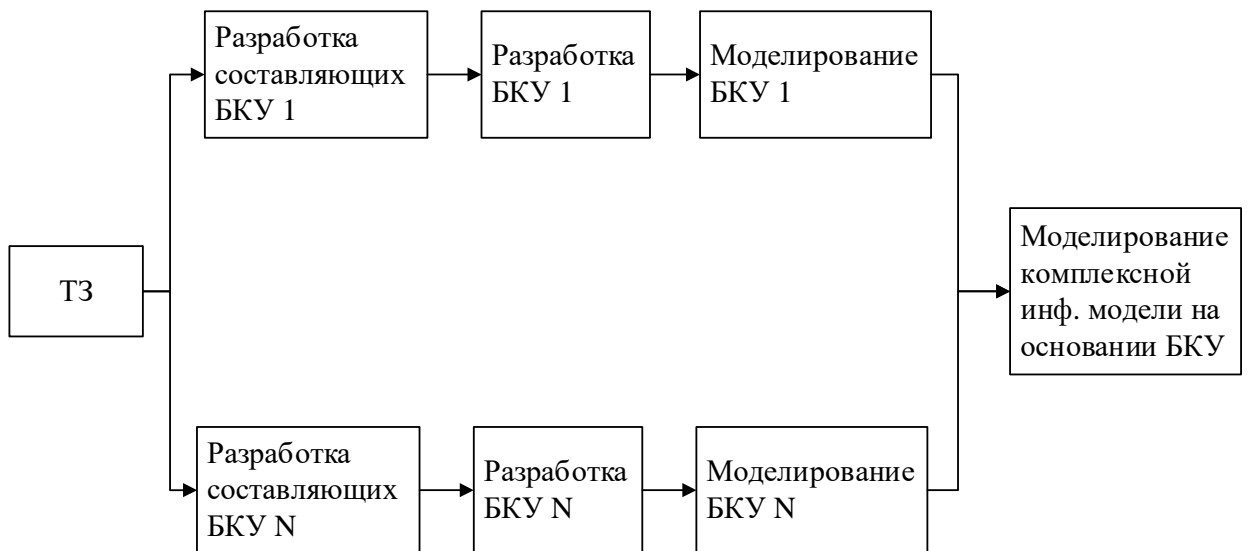


Рисунок 2.1 – Последовательное моделирование объектов на основе БКУ [44], [45]

Если при проектировании сооружений на основе БКУ выполнять моделирование последовательно, т.е. без ориентирования на специфику БКУ, то процесс в итоге будет усложнен (рис. 2.1). Поэтому целесообразно разделить проектирование на два этапа: этап разработки одного или нескольких БКУ (рис. 2.2) и этап полноценного проектирования зданий или сооружений на основе БКУ [44], [45]. Второй этап можно выполнять несколькими способами:

1. Составлением объекта из множества БКУ.
2. Корректировкой или детализацией универсального БКУ.
3. Разработкой одного или нескольких БКУ специально для проекта.

Для максимальной универсальности проектирования рационально использовать все способы одновременно (рис. 2.3).

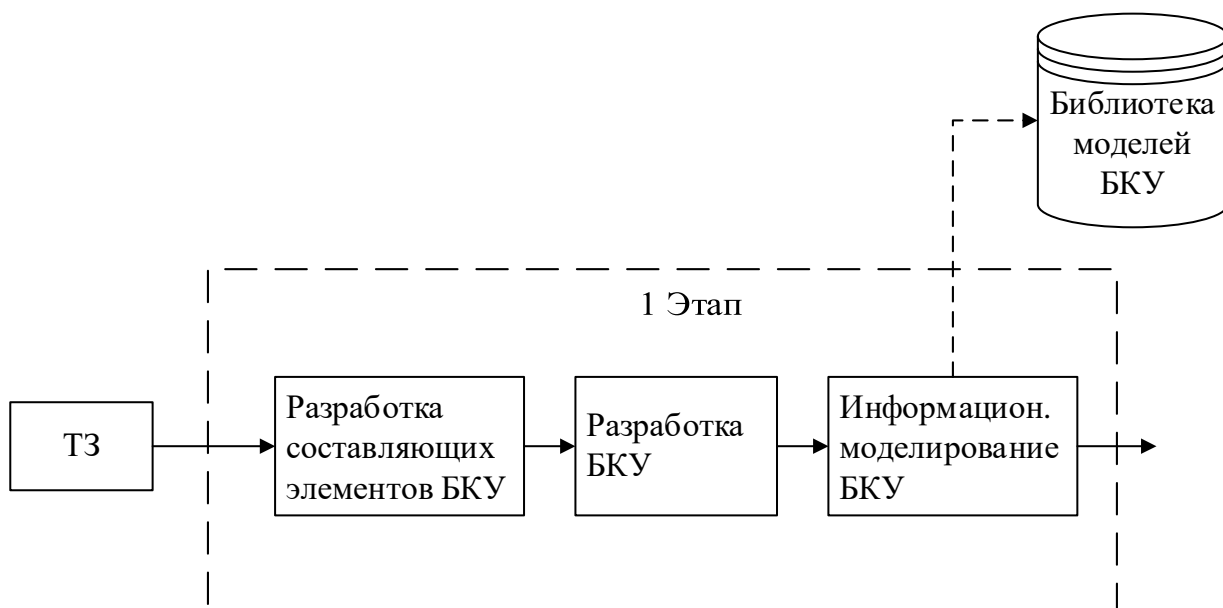


Рисунок 2.2 – Этап 1: формирование библиотеки БКУ

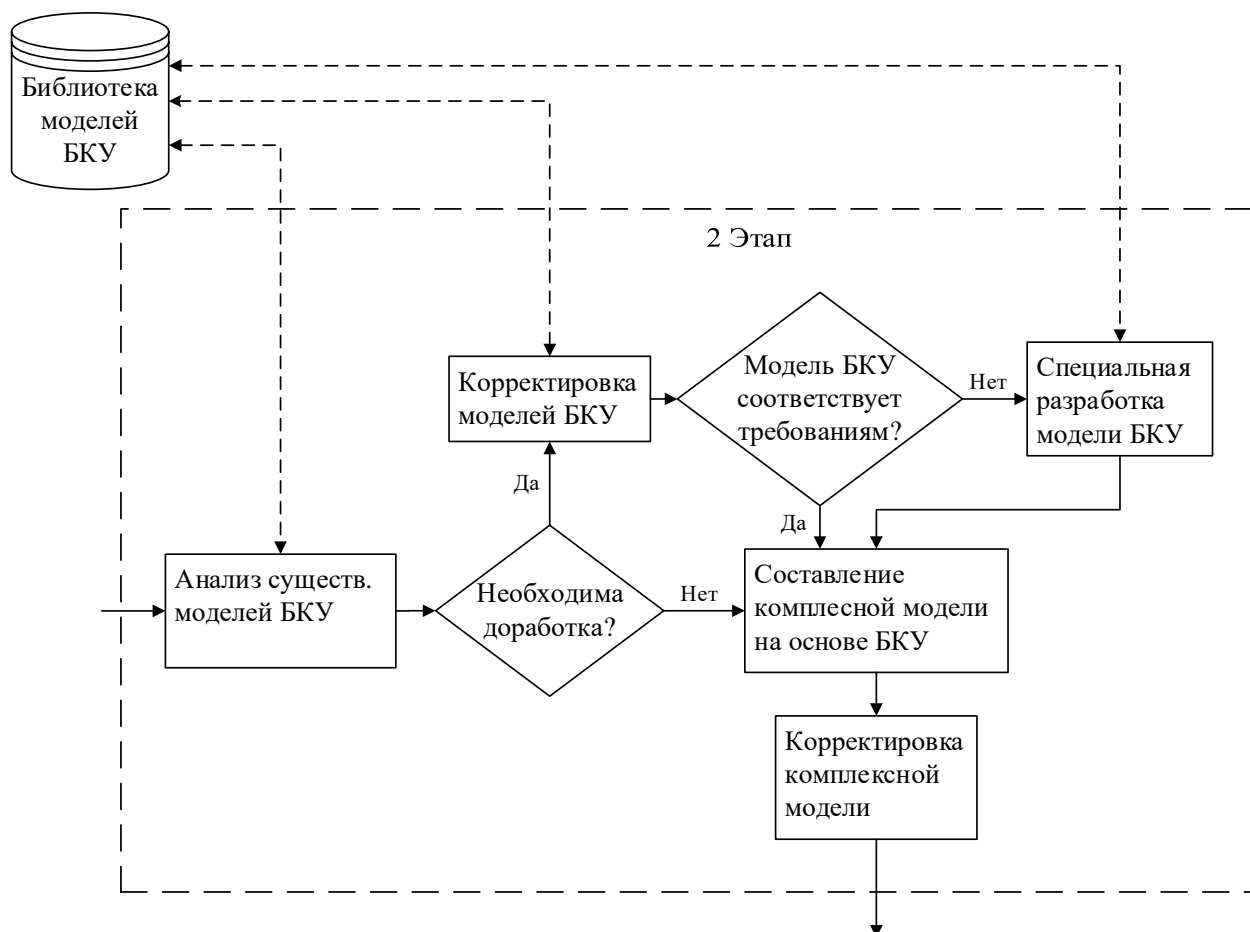


Рисунок 2.3 – Этап 2: моделирование комплексной информационной модели

Применение двухэтапного подхода проектирования адаптировано для объектов любой сложности и любого строительного объема. При наличии

максимально подходящих моделей БКУ часть этапов будет пропущена или выполнена за минимальный срок. С каждым новым объектом проектирования библиотека моделей БКУ увеличивается, за счет этого сокращается время проектирования будущих объектов [44], [45].

При формировании архитектурных, конструктивных и инженерно-технологических элементов не требуется дополнительных инструментов разработки информационной модели, за исключением создания семейств или дополнительных объектов. В каждом программном комплексе помимо специфичного инструментария проектирования имеется общегеометрический, который позволяет моделировать любые геометрические формы. Таким образом, при разработке модели БКУ имеется возможность создавать не только строительные объекты [108].

Проектирование «комплектно-блочной» информационной модели базируется не только на фундаментальных принципах технологий информационного моделирования, но и на специфичных «комплектно-блочных». Следовательно, можно сделать следующие выводы о результативных особенностях формирования моделей:

1. Построение «комплектно-блочной» информационной модели выполняется на основе предварительно разработанных узлов – моделей БКУ.
2. Расширение библиотеки предварительно разработанных моделей БКУ упрощает моделирование основного объекта.
3. Библиотека моделей БКУ содержит неполноценные модели, что делает их универсальными, их можно доработать и детализировать.
4. В процессе проектирования комплексной модели возможно управлять существующими моделями БКУ в совокупности с дополнительными разработками.
5. Все модели БКУ ограничены возможностями завода-производителя.

6. Информационная модель одного или нескольких БКУ может являться заданием проекта завода-производителя. Таким образом, появляется возможность предварительного расчета стоимости, времени и трудозатрат.

7. Разработка одной модели БКУ или их комплекса может выполняться различными способами и инструментами информационного моделирования.

8. Библиотека моделей БКУ может быть заранее разработана заводом-производителем согласно номенклатуре выпускаемой продукции, что полностью ликвидирует этап разработки и согласования 1-го этапа и значительно сокращает время проектирования.

Таким образом, информационное моделирование на основе «комплектно-блочного» подхода является перспективным развитием не только для БКУ, но и для сложных комплексных объектов на основе БКУ. Преимущества данного подхода достаточно универсальны, из чего следует возможность трансфера методологии на другие объекты. Если не ограничиваться только комплектно-блочными объектами, а разработать аналогичные элементы для других типов зданий и сооружений, можно сформировать абсолютно новый подход к проектированию и строительству.

С учетом всех свойств и преимуществ комплектно-блочного подхода, характеристик блочно-комплектных устройств различных типов, а также особенностей реализации БКУ на основе информационного моделирования, целесообразно выделить наиболее универсальные положения и адаптивные компоненты для формирования модульного принципа:

1. Выполнение проектирования на основе полноценных модульных единиц.
2. Модульная единица, как полноценный блок проектирования и строительства.
3. Разработка, регулярная актуализация и адаптация модульных единиц.
4. Компоновка модульных единиц.

5. Повторное использование модульных единиц.
6. Возможность автоматизации.
7. Систематизация и классификация.

В отличие от комплектно-блочного подхода, модульный принцип исключает самые высокие уровни детализации объектов унификации, повышенную адаптацию к функциональному назначению и разделение на компоненты [38]. В результате достигается цель унификации и универсализации модульных единиц с возможностью максимальной готовности. Однако необходимо определить взаимосвязь компонентов и уровней детализации, способ разработки и моделирования, возможность корректировки и адаптации. Следовательно, целесообразно рассмотреть функции, состав и моделирование модульной единицы – элемента.

2.2. Методология представления модульного элемента как параметрического компонента средств информационного моделирования зданий

Независимо от программного комплекса информационного моделирования, от инструментов работы, способов взаимодействия и форматов хранения представление модульного элемента в цифровой среде заключается в объединении нескольких ключевых компонентов в одну функциональную систему – блок. В программной среде информационного моделирования блок воспринимается как единичный элемент, независимо от его состава. Следовательно, все манипуляции над блоком проводятся аналогично процессам и действиям, за исключением работы внутри самого блока [27], [32], [31], [108].

Понятие блока модульного элемента формирует основу параметрического компонента в рамках информационного моделирования. Универсальные характеристики этого компонента основываются на базовых

свойствах «блока», «группы объектов», «семейств», а специфичные – на архитектурно-конструктивных и общестроительных свойствах.

Блок в среде векторного (2D и 3D) моделирования – набор объектов, воспринимающийся как один объект. Помимо входящих единичных объектов блок также содержит название, геометрические характеристики, базовую точку и, при необходимости, параметрические атрибуты. Общемодельные атрибуты присвоены только к каждому входящему элементу. Блок может включать в себя и другие блоки. Изменение одного блока влечет за собой немедленное изменение всех блоков с этим же названием. С точки зрения функциональности блоки не имеют строгой классификации внутри векторного редактора, следовательно, работа с ними достаточно проста [109].

Блок в информационном моделировании – несколько трехмерных элементов здания или сооружения, объединенных в сборку или группу, которую можно независимо использовать, изменять, маркировать, включать в спецификацию и фильтровать. «Блок» отображается в структуре проекта [90].

В зависимости от способа создания «блока» существуют некоторые отличия в работе: корректировка, копирование или перегруппировка. «Блок» может быть импортирован и экспортирован, а также преобразован в первоначальный вид [110].

В отличие от векторного формата работы, «блоки» в информационном моделировании имеют классификацию – отношение к конкретной группе элементов аналогично семействам и моделям в контексте [92]. В связи с этим появляются функциональные ограничения не только по действиям над «блоком» в рабочей среде, которые обусловлены принадлежностью к той или иной группе, но и общестроительные, которые свойственны исключительно строительным элементам [111].

Блок модульного элемента характеризуется не только внутренними параметрами входящих в него субэлементов, но и внешними, которые несут информацию о блоке как о самостоятельной фигуре в программной среде. К таким характеристикам относятся:

- форма блока;
- габариты;
- количество ограждающих элементов;
- состав;
- способ крепления.

Конкретизация данных характеристик позволит сформировать один или несколько идентичных блоков информационного моделирования. Одновременно образуется область для регулирования параметров блока, что формирует практическую основу для классификации блоков, вариантов их разработки и способов комбинации.

В отличие от векторных форматов блоков, блок информационного моделирования всегда представляется как объект динамической параметризации: один или несколько параметров блока могут быть изменены таким образом, изменение одного или нескольких параметров блока может повлечь за собой геометрическое. С точки зрения реализации и производства такого элемента, изменение в рамках параметризации не существенно: на этапе моделирования устанавливаются допущения и ограничения по динамике того или иного параметра.

Представление модульного элемента как параметрического компонента средств информационного моделирования выполняется в несколько этапов с вариантами реализации в рамках одного или нескольких программных комплексов. Каждый этап включает в себя локальные шаги согласно задачам детализации каждого нового блока. Каждый шаг выполняется соответствующим инструментом или примитивом в рамках программного комплекса информационного моделирования (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Алгоритм разработки модульного элемента в среде информационного моделирования

Этап	Название	Состав этапа	Инструмент информационного моделирования
I этап	Разработка блока: моделирование составляющих	Эскиз	Общее моделирование, архитектура, изменение
		Архитектурная часть	Архитектура
		Конструктивные решения	Конструкция, сборные элементы
		Инженерно-технологическое обеспечение	Системы, импорт, редактор семейств
		Дизайн/отделка	Общее моделирование, архитектура, изменение
		Оборудование/мебель	Экспорт, редактор семейств
II этап	Группировка	Сборка	Создание, сборка
		Группа	Группа модели
		Семейство	Редактор семейств
III этап	Хранение	Внутри проекта	Сохранить
		Снаружи	Экспорт
VI этап	Повторное использование	Диспетчер проекта	Диспетчер проекта

I этап заключается в традиционном информационном моделировании объекта. В данном случае выполняется моделирование не полноценного здания, а его составляющего компонента – модуля. Инструменты разработки, примитивы и методы работы с ними не изменяются.

На II этапе выполняется преобразование системы нескольких взаимосвязанных примитивов и элементов информационного моделирования в полноценный модуль – блок-компонент информационного моделирования. Реализовать данный шаг можно тремя способами: сборкой, группировкой или работой внутри семейства.

Инструменты сборки и группировки идентичны относительно методики выполнения, отличия будут заключаться только в способе хранения, дублирования и изменения параметров блока. При любых изменениях сборки автоматически будет создана новая сборка с новым названием, что будет моментально отражено в структуре проекта – диспетчере. При изменении группы автоматически изменяются все группы с указанным названием [112].

Работа в рамках редактора семейств значительно сложнее и требует изначального моделирования по методике создания семейства. Моделирование субэлементов за счет общегеометрических инструментов усложняет процесс разработки, однако позволяет создавать сложные и нестандартные составляющие. В процессе работы с блоком-семейством присутствуют особенности и сборки, и группы модели.

Каждый метод группировки имеет соответствующие особенности реализации и взаимодействия, для того или иного блока наиболее рационально использование разных подходов. Следовательно, в зависимости от назначения и определенных характеристик блока может быть применен тот или иной инструмент группировки [113], [114].

На III этапе принимается решение о способе хранения блока-группировки. Частично вариант хранения определяется исходя из способа группировки, однако при необходимости его можно изменить. В зависимости от объема работ, технико-экономических показателей проекта, формы коллективной работы и ресурсных возможностей аппаратного и программного обеспечения определяется наиболее рациональный формат хранения: внутри проекта, снаружи или смешанно.

IV этап заключается в повторном обращении к интересующему блоку-группировке. Если данный элемент уже размещен в пространстве комплексной модели, то он располагается в структуре диспетчера проекта, что позволяет моментально им воспользоваться. Если по той или иной причине элемент находится за пределами файла модели проекта, необходимо выполнить его импорт или вставку [115], [116].

С учетом того, что жизненный цикл модульного элемента не начинается и не заканчивается в среде информационного моделирования, можно рассматривать процесс его разработки как универсальный полноценный алгоритм, который берет за основу инженерные данные – техническое задание на моделирование. В результате формируется единичный блок информационного моделирования – ТИМ-модуль.

ТИМ-модуль не только необходим для дальнейшей разработки комплексной модели, но и может быть использован в качестве технического задания для производства данного ТИМ-модуля. В зависимости от способа производства модульного элемента учитываются дополнительные ограничения по производству, транспортировке или материалам. При взаимодействии с определенным заводом-изготовителем требования установлены заранее, что позволяет учесть их на начальных этапах работы. Изготовитель может быть заинтересован в формировании собственной базы модульных элементов [117].

При работе с трехмерной печатью требования определены 3D-принтером или отсутствуют полностью (рис. 2.4).

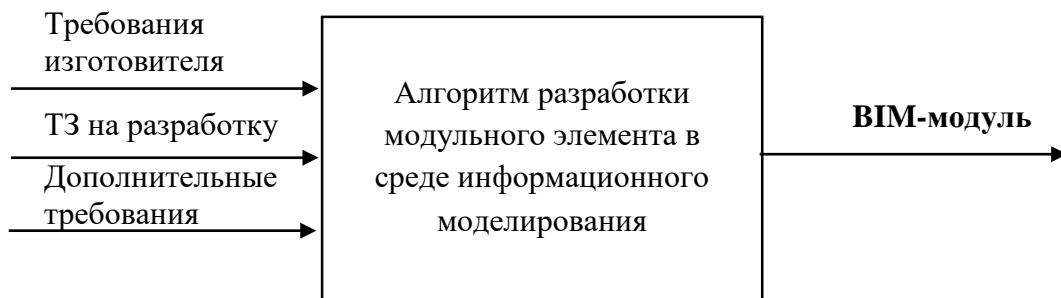


Рисунок 2.4 – Концепция разработки модульного элемента

Входные данные для разработки ТИМ-модуля могут быть систематизированы, сгруппированы или детализированы для упрощения или ускорения работы над модульным элементом, одновременно создавая единообразие [118].

При более полноценном анализе методики создания блока ТИМ-модуля концепции разработки становится недостаточно. Это влечет за собой дополнительные вопросы и задачи формирования. Следующим важным вопросом становится способ формирования блока ТИМ-модуля: с учетом принадлежности, функциональности, свойств, детализации. Таким образом, наиболее полноценное техническое задание формирует более детализированный ТИМ-модуль.

Для систематизации и классификации целесообразно предварительно установить правила работы в виде стандарта, соответствие которому обеспечит порядок, полноценность и взаимозаменяемость и одновременно упростит работу всех заинтересованных специалистов [119].

Таким образом, необходимо определить свойства ТИМ-модуля, параметры, содержание, уровень детализации, возможность изменения или замены. Формирование ТИМ-модуля заключается одновременно в его геометрическом и информационном моделировании: параллельно с установкой формы и размеров входящих элементов необходимо учитывать их состав и материалы.

2.3. Понятие Информационной модели модульного элемента максимальной готовности (ИМЭМГ)

2.3.1. Требования к модульному элементу максимальной готовности (МЭМГ)

Модульный элемент максимальной готовности в строительстве (МЭМГ) – это заранее изготовленный из различных материалов полноценный элемент строительства, обладающий наивысшей степенью готовности для монтажа. МЭМГ включает в себя необходимые архитектурные и конструктивные компоненты, инженерно-технологическое обеспечение. Разработанные варианты модулей можно комбинировать между собой для создания новых проектов [95].

Модульный ТИМ-блок или ТИМ-модуль – это цифровая модель комплексной структурной единицы, которая аккумулирует в себе свойства и характеристики нескольких элементов строительных конструкций, выполненных в среде информационного моделирования. Главная характеристика ТИМ-модуля – это представление всех составляющих в одной

структурной единице, т.е. в виде блока в любом представлении. Следовательно, Информационная модель МЭМГ (ИМЭМГ) – фундаментальная базовая единица модульного информационного моделирования, которая представлена в ТИМ-модуле, цифровая копия модульного элемента, реализованная инструментами информационного моделирования [120].

Требования к ИМЭМГ определяются на основе совокупности геометрических требований свода правил СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения» [121], [122] и требований к модели в соответствии с СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [123].

1. Геометрические требования.

В основе геометрических требований лежат требования к длине, ширине и высоте ИМЭМГ, согласно рассмотренному своду правил, а также требования к их взаимосвязи. Ограничения могут быть вызваны сложностями монтажа и транспортировки, а также особенностями процессов автоматизации для дальнейшей компоновки.

Одновременно с пространственными ограничениями, представленными на рисунке 2.5, установлены относительные ограничения:

- площадь основания модуля не более 100 м^2 ;
- соотношение сторон длины и ширины соответствует 2:1.

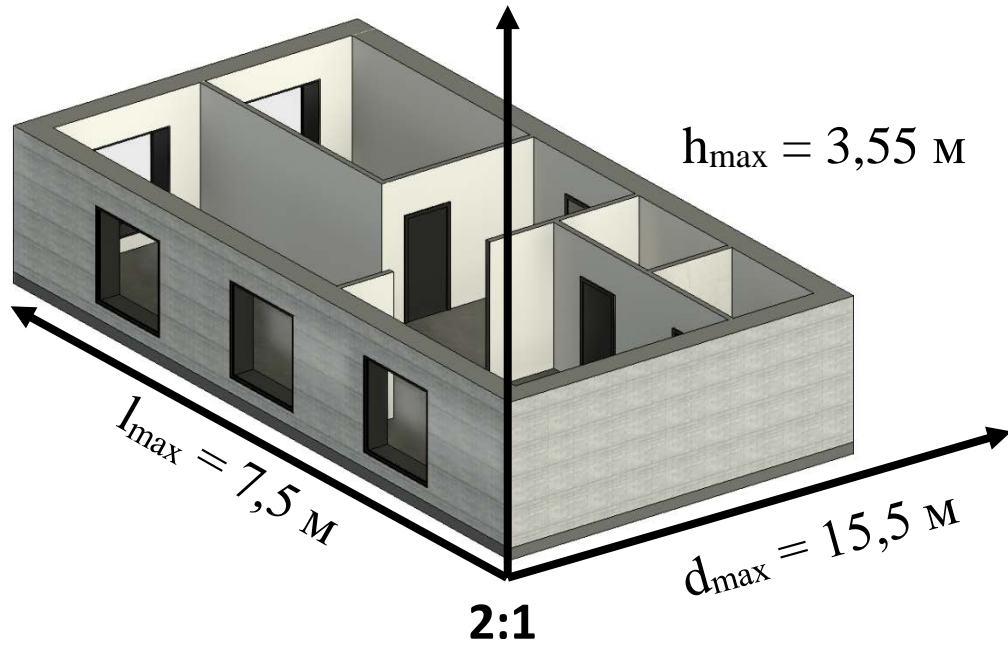


Рисунок 2.5 – Пространственные ограничения ИМЭМГ

2. Требования к информационной модели.

С учетом СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [123], а также этапа жизненного цикла требования основываются на характеристиках уровня проработки цифровых информационных моделей объекта капитального строительства: этап архитектурно-строительного проектирования, т.е. уровень В. Уровень В включает в себя:

- определение границ элемента;
- границы материалов в структуре элемента (для материалов, необходимых для спецификаций, ведомостей объемов работ и других количественных оценок).

Типы класса элементов, типы элементов, группы атрибутов для ИМЭМГ соответствуют атрибутам описываемых типов элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства согласно приложениям Г и Д СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в

строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» в рамках уровня детализации В [123].

На последующих этапах на основе рассмотренных атрибутов будут сформированы структура и типоразмеры ИМЭМГ.

2.3.2. Требования к проектированию на основе МЭМГ

Разработка проекта для будущего объекта капитального строительства на основе модульности предполагает соблюдение определенных требований. Множество данных требований можно условно разделить на три уровня. К первому уровню относятся общие требования модульного формирования технических систем, ко второму – исключительно общестроительные требования, к третьему – требования, сформированные на основе специфики проектирования для соответствующего типа объекта строительства [95], [124], [125].

Требования первого уровня включают в себя универсальные положения, образующие основу модульного проектирования различных типов объектов [102], [104]. Формирование этих требований базируется на совокупности требований конструктивности и функциональности. Обобщенно требования первого уровня можно сформулировать следующим образом [95]:

1. Функциональная и геометрическая совместимость элементов.
2. Взаимозаменяемость элементов.
3. Корреляция размеров и параметров.
4. Классификация и систематизация элементов.
5. Наличие алгоритма формирования комплексного объекта.
6. Возможность анализа и расчета.

Требования второго уровня формируются на основе требований первого уровня с учетом особенностей строительного производства [102], [104]. На

данном уровне важно учитывать распространенность проблемных ситуаций, климатические и территориальные особенности, инструменты проектирования. К требованиям второго уровня можно отнести следующие [95]:

1. Совместимость конструктивных элементов и инженерных систем.
2. Максимальное использование существующих компонентов комплектно-блочного строительства.
3. Ограничение высотности при использовании модулей.
4. Максимальное использование средств автоматизации для проектирования.
5. Адаптация инструментов программного обеспечения для модульного проектирования.
6. Дифференциация элементов с учетом климата.
7. Зависимость применения геометрических и функциональных параметров от транспортной доступности объекта.
8. Рационализация хранения и производства.
9. Гибкость методик организации строительства.
10. Энергоэффективность.
11. Экологичность материалов.
12. Регулярное расширение библиотеки модульных элементов.
13. Непрерывная актуализация классификации и систематизации строительных модулей с учетом инноваций.

Третий уровень требований формируется на основе технологических особенностей и назначения будущего объекта капитального строительства. По сравнению с требованиями первого и второго уровня, третий может включать большее количество требований за счет функционального и геометрического разнообразия объектов [126]. Часть требований у различных объектов может дублироваться за счет технологической схожести, часть является индивидуальной [102], [104]. Для систематизации требований третьего уровня логично выделить универсальные для каждой группы объектов направления,

которые, как правило, указаны в каждом техническом задании. Следовательно, требования третьего уровня можно сгруппировать следующим образом [95]:

1. Площадь застройки.
2. Строительный объем.
3. Количество жителей / работников.
4. Производственная мощность.
5. Режим функционирования.
6. Технологическая специализация.

В совокупности три уровня требований образуют систему требований ко всем процессам жизненного цикла объекта капитального строительства. При рассмотрении отдельных групп требований второго и третьего уровней можно выделять ряд не уникальных требований, которые могут использоваться и при традиционном варианте проектирования. Однако, с учетом ограничений первого уровня, весь комплекс требований представляет собой полноценную систему требований к проектированию в рамках модульности [95], [102], [104].

Параметры модульного элемента максимальной готовности целесообразно представить также в трёхуровневой системе, которая соответствует требованиям модульного проектирования, и в то же время сохраняет свойства самого модульного элемента [95] (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Параметры модульного элемента максимальной готовности

	<i>Требования модульного проектирования</i>		
	I уровень	II уровень	III уровень
<i>Свойства модульного элемента</i>	1.1 Форма 1.2 Габариты 1.3 Конструктивные решения 1.4 Тип крепления /совмещения	2.1 Функциональное назначение 2.2 Расположение (внутри/снаружи) 2.3 Материалы конструкций	3.1 Уровень наполняемости 3.2 Климатическая принадлежность 3.3 Уровень сложности транспортировки

Несмотря на то, что три уровня образуют теоретический фундамент, для полноценной разработки проекта на основе модульных элементов одной только системы требований недостаточно. Поэтому необходимо дальнейшее рассмотрение основных компонентов технологии модульного строительства [72], [107], [93], [95], [97], [98], [99], [127].

2.4. Формирование параметров ТИМ-блоков для разработки типовых ИМЭМГ

Вне зависимости от функциональности каждый блок имеет стандартный набор компонентов. Совокупность всех компонентов представляет собой автономную систему блока. Свойства компонента могут отличаться в различных блоках, могут иметь ограниченный набор вариантов, а могут быть неизменны.

Стандартные компоненты блока формируются согласно основным составляющим любого здания: архитектурная часть, конструктивные решения, инженерно-технологическое обеспечение, также добавляются элементы крепежа и состыковки блоков (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Система компонентов модульного элемента

Группа	Компонент
Архитектурная часть	Наружные и внутренние стены Перекрытия Перегородки Крыша и кровля Лестница Окна Двери
Конструктивные решения	Плиты Балки Опоры Каркас Фундамент Элементы крепежа блоков

Группа	Компонент
Инженерно-техническое обеспечение	Коммуникации Отверстия для коммуникаций Трубы Воздуховоды Лотки и шинопроводы
Дополнительные элементы	В зависимости от специфики и технического задания

В связи с этим, некоторые архитектурные элементы могут одновременно выполнять несколько функций, а состав элементов инженерных систем может варьироваться в зависимости от типа и назначения объекта строительства. Таким образом, каждый модульный элемент – это некоторая выборка элементов из множества компонентов, совокупность которых представляет полноценную автономную систему. Критерий функциональности данной системы – комплексная работоспособность вне зависимости от наличия и функциональности других систем [128], [129], [121].

При унификации модульного элемента и его составляющих компонентов важным является вопрос группировки и объединения нескольких субэлементов. С концептуальной точки зрения группировка не имеет значения, так как не влияет на устойчивость конструкций. Однако с точки зрения разработки и использования элемента в том или ином программном комплексе, вопрос объединения является важным стратегическим моментом [128].

Традиционно программные комплексы информационного моделирования включают в себя группы команд и примитивов по архитектуре, конструктивным решениям, инженерным системам, генплану, оформлению документации, совместной работе и созданию нестандартных элементов. Необходимо адаптировать подход использования имеющегося инструментария под работу в рамках модульного метода. Следовательно, целесообразно определить для каждого компонента блока соответствующий инструмент информационного моделирования (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Сопоставление функционала информационного моделирования и компонентов блока

Группа	Функционал и примитивы
Архитектурная часть	Архитектурные инструменты Инструменты концептуального моделирования Настройки материалов Импорт объектов
Конструктивные решения	Конструктивные инструменты Архитектурные инструменты Импорт объектов Инструменты семейств или объектов
Инженерно-технологическое обеспечение	Инструменты инженерных систем Надстройки и база от производителя Инструменты семейств или объектов с добавлением типоразмеров
Мебель и оборудование	Импорт объектов База от производителя Инструменты семейств
Крепеж и состыковка элементов	Конструктивные инструменты Архитектурные инструменты Импорт объектов Инструменты семейств или объектов
Группировка и объединение	Группы модели Инструменты семейств
Общегеометрические задачи	Инструменты редактирования Визуализация Инструменты оформления документации Инструменты импорта и экспорта

В результате анализа сопоставления инструментария информационного моделирования можно сделать вывод о том, что посредством функционала возможно выполнить полноценное построение не только любого блока, но и комплексной информационной модели на основе МЭМГ. Отличие от традиционного подхода разработки заключается в векторе построения основных составляющих: изменяется порядок и объем моделирования согласно распределению по блоку [94], [30], [81].

На основании данных о способах и инструментах моделирования единичного блока можно сформировать универсальный подход для комплексного информационного моделирования объекта строительства.

Для различных блоков перечень применяемых компонентов варьируется в зависимости от функциональности блока, размера, формы и специфики будущего объекта. Наличие тех или иных компонентов определяется изначально, а также может быть установлено или распределено с учетом принятого уровня детализации [130], [131]. В первом случае блок будет считаться полностью законченным, во втором предполагается дальнейшая доработка. При отложенной детализации блока появляется возможность внесения изменений в блок без значительных последствий и дополнительных трудозатрат. Низкий уровень детализации повышает универсальность блока за счет доработок в будущем. Обобщенно зависимость универсальности от уровня детализации можно представить в следующем виде (рис. 2.6):

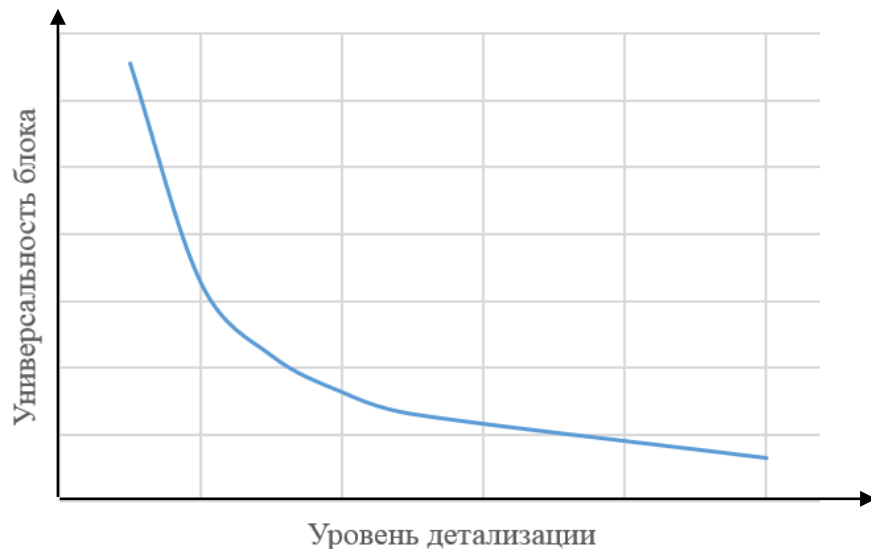


Рисунок 2.6 – Условная зависимость детализации

Уровень детализации определяется наличием каждой группы компонентов (таблица 2.4). Количественное увеличение внутри одной группы уровень не повышает. Также различные уровни проработки расширяют потенциальный суммарный объем будущих блоков за счет дополнительных векторов классификации. Один тот же блок может с точки зрения функциональности представляться в различных формах детализации. С учетом детализации уровней проработки информационной модели, закрепленных в СП 404.1325800.2018 «Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с

применением технологии информационного моделирования» [110], СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели» [132] и СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» [123] детализация ИМЭМГ представляется следующим образом (таблица 2.6):

Таблица 2.6 – Уровни детализации ИМЭМГ (ТИМ-блоков)

Типоразмеры группы ИМЭМГ		Типоразмер N								
Уровни детализации		0	1		2		3		4	
Уровень проработки		0	В*	М**	В	М	В	М	В	М
Состав ИМЭМГ	Архитектурные решения	Форма	+		+		+		+	
	Конструктивные решения		-		+		+		+	
	Инженерно-техническое обеспечение	-	-		-		+		+	
	Дополнительные элементы		-		-		-		+	

***В** (boundaries) - Определение границ элемента

****М** (material)- Границы материалов в структуре элемента

Внутри каждой группы и внутри каждого уровня можно продолжить распределение на более узкие варианты детализации, однако целесообразно предварительно определить потенциальную эффективность относительно объема работ проектирования, назначения объекта и технико-экономических показателей. Помимо наличия группы компонентов каждый уровень обладает уникальными свойствами, а также общими для всех блоков свойствами [131], [68].

Каждый блок имеет свойства и параметры, которые присущи всем блокам как с точки зрения технического элемента, так и информационного моделирования. Общие параметры блока рассмотрены в разделе 2.1. Полноценность блока определяется наличием данных – значений параметров,

которые характеризуют блок. Также на основе параметров формируется классификация и систематизация блоков [112], [121].

Что касается свойств внутри группы компонентов – количество вариантов настолько велико, что целесообразно их сгруппировать (таблица 2.4).

Таким образом, формирование блоков для модульных элементов в среде информационного моделирования концептуально заключается в выполнении следующих этапов:

1. Определение общих параметров. Дальнейшая работа по формированию ограничена данными значениями.
2. Установка уровня детализации, исходя из технического задания или принятых проектных решений.
3. Разработка части блока в рамках группы компонентов согласно уровню детализации. Порядок разработки совпадает с повышением уровня детализации (таблица 2.6).
 - 3.1. Моделирование архитектурной части.
 - 3.2. Моделирование конструктивной части.
 - 3.3. Моделирование инженерно-технологических систем.
 - 3.4. Моделирование или импорт мебели и оборудования.
4. Проверка коллизий, стыков, узлов и отверстий внутри блока модульного элемента.
5. Группировка всех элементов и примитивов блока в один полноценный модуль посредством выбранного ранее способа объединения.
6. Сохранение условного блока: название, место хранения, группа классификации.
7. Дальнейшее использование в рамках процессов формирования комплексной информационной модели.

Для разработки каждого нового ТИМ-блока все шаги необходимо выполнять полностью. При повышении уровня детализации – с этапа разработки существующего уровня. При увеличении типоразмеров или

разновидностей блоков необходимо продолжить моделирование с этапа, в котором происходит изменение того или иного параметра [117].

Таким образом, с точки зрения функционала технологий информационного моделирования ИМЭМГ представляет собой ТИМ-блок, т.е. объединенную группу различных семейств модели, представленную в виде самостоятельной единицы. ТИМ-блок типового ИМЭМГ представляет собой группу элементов, составленную с помощью инструмента «группа», и включает в себя 4 вложенных подгруппы, соответствующих объединению по назначению функциональности: АР, КР, Инженерное обеспечение и дополнительные элементы [90], [91], [123], [132], [110], [92], [111] (рис. 2.7).

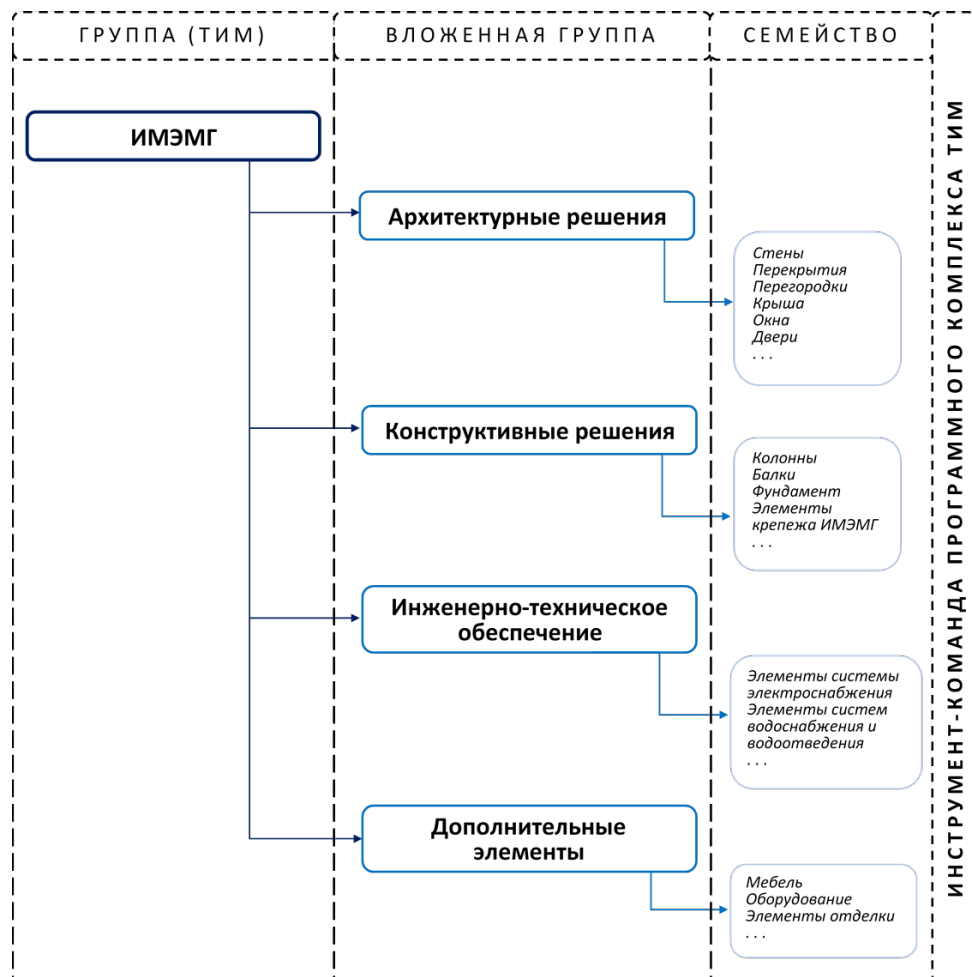


Рисунок 2.7 – Структура типовых ТИМ-блоков (ИМЭМГ)

Одновременно каждая группа подразделяется на несколько типоразмеров. Предлагается выделить группы 2-х уровней типоразмеров: 1-й уровень – типоразмер ИМЭМГ по атрибутам объемных параметров длины,

высоты, ширины, которые в дальнейшем будут использованы при классификации ИМЭМГ. 2-й уровень – типоразмеры в рамках, вложенных 4-х подгрупп с учетом ограничений 1-го уровня типоразмеров ИМЭМГ (рис. 2.8).

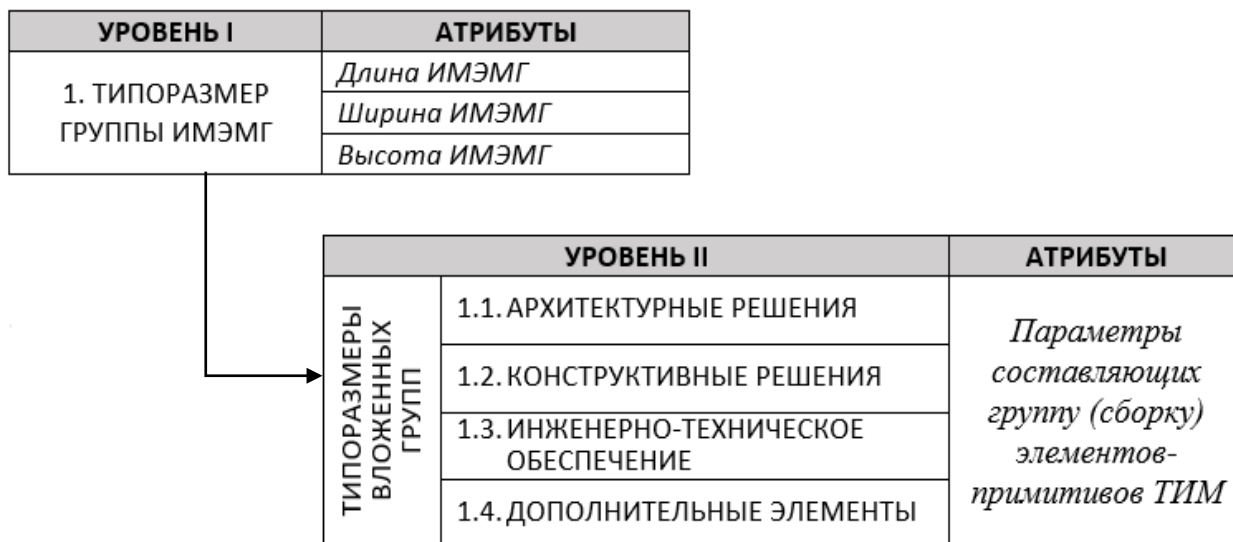


Рисунок 2.8 – Параметры типовых ТИМ-блоков (ИМЭМГ) по уровню детализации

Для упрощения работы в рамках моделирования блока модульного элемента, а также повышения качества и пригодности блоков, требуются дополнительные теоретические данные, которые помогут в разработке. В первую очередь необходимо определить понятия, ключевые элементы, функции, алгоритмы и методические рекомендации. Вторым этапом – проанализировать особенности, возможности, недостатки, а также найти способы их усовершенствования и рационализации [90], [91], [123], [132], [110], [92], [111].

2.5. Методологические основы моделирования на основе модульных элементов максимальной готовности

2.5.1. Процессы модульного проектирования

Проектирование по модульному принципу в своей основе отличаются от традиционных процессов проектирования. Эти отличия составляют теоретическую основу для получения преимуществ модульной эффективности [93], [97], [98], [99], [127]. Так как решение о применении модульных элементов должно приниматься на начальной стадии, проектные процессы отличаются с начала разработки эскизного проекта до ввода объекта в эксплуатацию или демонтажа всеми участниками и специалистами. Такие значительные изменения в комплексе проектных процедур порождают ряд принципиальных отличий [95]:

1. Заказчик, генеральный подрядчик, а также все члены проектной команды начинают тесно сотрудничать на более ранних этапах. Проработка проектных решений, анализ вариантов и принятие решений происходят в рамках ограничений модульности. Одновременно появляются новые способы и пути проектирования.

2. Для начала работы недостаточно только средств проектирования, необходимо наличие библиотеки модульных элементов. Поскольку процесс проектирования в общем смысле сводится к выбору и комбинации блоков, важно их наличие в достаточном объеме, классификация, а также возможности компаний-изготовителей.

3. В предотвращении коллизий большую роль играет предварительная тщательная координация конструктивных и инженерных систем. В традиционном проектировании допускается корректировка трассировки или размещения объектов, в модульном любое принципиальное изменение порождает разработку нового блока при невозможности замены элемента [93] [97] [98] [99] [127]. Любая коллизия имеет больше негативных последствий для работы, однако при рациональной проработке модульного элемента с учетом специфики инженерных систем коллизии можно минимизировать.

4. Один из фундаментальных вопросов – крепление модульных элементов между собой в процессе монтажа. В традиционном проектировании

все виды узлов имеют устоявшуюся типизацию, в модульном проектировании еще предстоит большой путь разработки эффективных способов совмещения и последующего взаимодействия модульных элементов между собой [118].

5. Ввиду большего размера, объема и массы модулей, по сравнению с существующими строительными элементами, актуальным становится вопрос безопасности на строительной площадке. С учетом новых исходных данных необходим пересмотр норм охраны труда.

6. Необходимо предварительное детализированное разделение строительно-монтажных и отделочных работ, часть из них будут выполнены в заводских условиях, а другие – непосредственно на строительной площадке. Понятие максимальной готовности подразумевает рациональное выполнение объема работ в производстве, а не стопроцентное выполнение. Степень готовности изготовления модульного элемента зависит от многих факторов, в том числе от назначения будущего объекта, от климатических условий и сроков строительства.

7. Перед специалистами в области разработки проекта, организации строительства и логистики стоят новые задачи по части транспортировки, размещения и хранения модульных элементов. С учетом их размеров традиционные задачи значительно усложняются. Для наиболее эффективного решения необходимо более тесное сотрудничество архитекторов и инженеров-конструкторов со специалистами по логистике в процессе проектирования для предотвращения конфликтных ситуаций в будущем.

8. Для минимизации коллизий всех уровней и технологической принадлежности целесообразно определить ряд дополнительных согласований [72], [107], [93].

Процессы модульного проектирования и традиционного имеют определенные общие аспекты, однако фундаментальные различия очевидны. Недостатки модульности на начальных этапах работы компенсируются дальнейшими преимуществами за счет сокращения сроков и минимизации объема проектных работ. Одновременно все сложности модульного

проектирования уменьшаются с каждым новым объектом за счет пополнения библиотеки, накопления опыта и новых знаний, учета предыдущих ошибок.

2.5.2. Особенности применения МЭМГ на всех этапах жизненного цикла

При детальном изучении модульного принципа с точки зрения реализации формируются новые правила, требования, способы решения задач. Каждая особенность модульности порождает рационализацию проектирования в той или иной степени. На основе комплекса преимуществ использования модульных элементов формируется суммарный положительный эффект на всем жизненном цикле объекта: ускорение проектирования и строительства, непрерывное улучшение качества решений и выполненных работ, применение высоких достижений в области инженерии [29], [95], [133], [134].

Внедрение модульных элементов максимальной готовности отражается на всех этапах жизненного цикла любого объекта строительства. Изменения возникают как за счёт нового или модифицированного проектного процесса, так и за счёт соблюдения требований модульности [95], [135], [136]. Новые атрибуты прямо воздействуют на конкретный этап или оказывают универсальное воздействие на все этапы жизненного цикла одновременно [137] (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Влияние модульных атрибутов на этапы жизненного цикла объекта строительства [95]

№	Стадия	Функция ИМЭМГ	Преимущество использования ИМЭМГ
1	Инженерные изыскания	1.Предпроектные разработки с учетом библиотеки элементов 2.Анализ рациональности использования модульного проектирования 3.Использование алгоритма автоматизированного формирования модели для эскиза и вариативного проектирования	1.Непрерывная разработка новых модульных элементов. 2.Актуализация классификации и систематизации модульных элементов. 3.Корректировка алгоритма разработки ИМЭМГ. 4.Адаптация проектных процессов и СМР согласно условиям использования модулей. 5.Поиск новых инструментов реализации.
2	Архитектурно-строительное проектирование (проектирование)	1.Проектирование в рамках библиотеки элементов 2.Анализ целесообразности использования модульного проектирования в конкретном объекте 3.Методика проектирования с учетом модульного элемента максимальной готовности	
3	Строительство, реконструкция, капитальный ремонт	1.Организация строительной площадки с учетом транспортировки и хранения модулей 2.Формирование работ согласно специфики модулей 3.Технологическая последовательность с учетом модульных элементов	
5	Эксплуатация	1.Мониторинг технического состояния каждого модуля 2.Возможность замены модульного элемента	
6	Снос и утилизация (ликвидация)	1.Поэтапный модульный демонтаж	

Таким образом, проектирование на основе модульных элементов максимальной готовности не только создаёт новый подход к проектированию, но и отражается на каждом этапе жизненного цикла [95], [136], [30], [134].

С точки зрения разработки все действия сводятся к формированию комплексной информационной модели – конечного продукта стадии проектирования. Влияние на все этапы жизненного цикла основывается

именно на изменениях в рамках разработки информационной модели на основе МЭМГ [134].

2.5.3. Разработка комплексной информационной модели на основе МЭМГ

Проектирование комплексной информационной модели условно делится на два этапа: разработка типовых моделей МЭМГ и формирование итоговой модели. Этап моделирования МЭМГ для различных комплексных моделей может частично совпадать, так как одни и те же МЭМГ могут быть повторно использованы в других итоговых моделях [90], [91], [92], [110], [111], [123], [132].

В процессе моделирования единичных МЭМГ для большого количества информационных моделей объектов постепенно формируется библиотека типовых элементов МЭМГ согласно их классификации. При необходимости сначала разрабатываются или корректируются компоненты МЭМГ. Разработка нового МЭМГ выполняется при условии отсутствия аналога в библиотеке. Следовательно, с реализацией каждого нового объекта объем библиотеки увеличивается, а затраты на моделирование МЭМГ уменьшаются (рис.2.9).

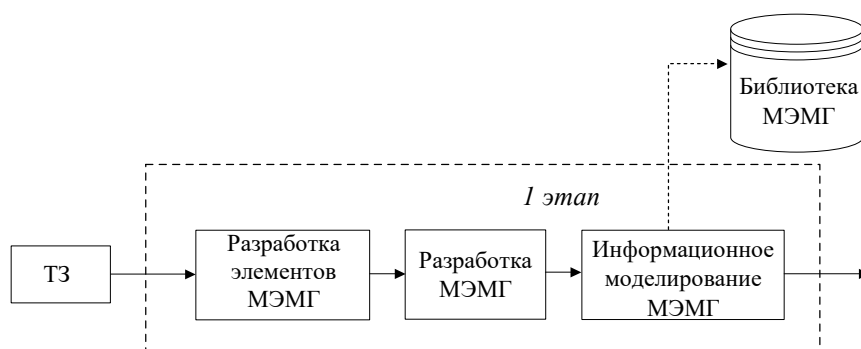


Рисунок 2.9 – Моделирование МЭМГ

На втором этапе выполняется формирование сводной модели, которая является определенной комбинацией МЭМГ из библиотеки. Количество,

габариты и наименование определяются специалистами с учетом специфики объекта на основе требований технического задания (рис.2.10).

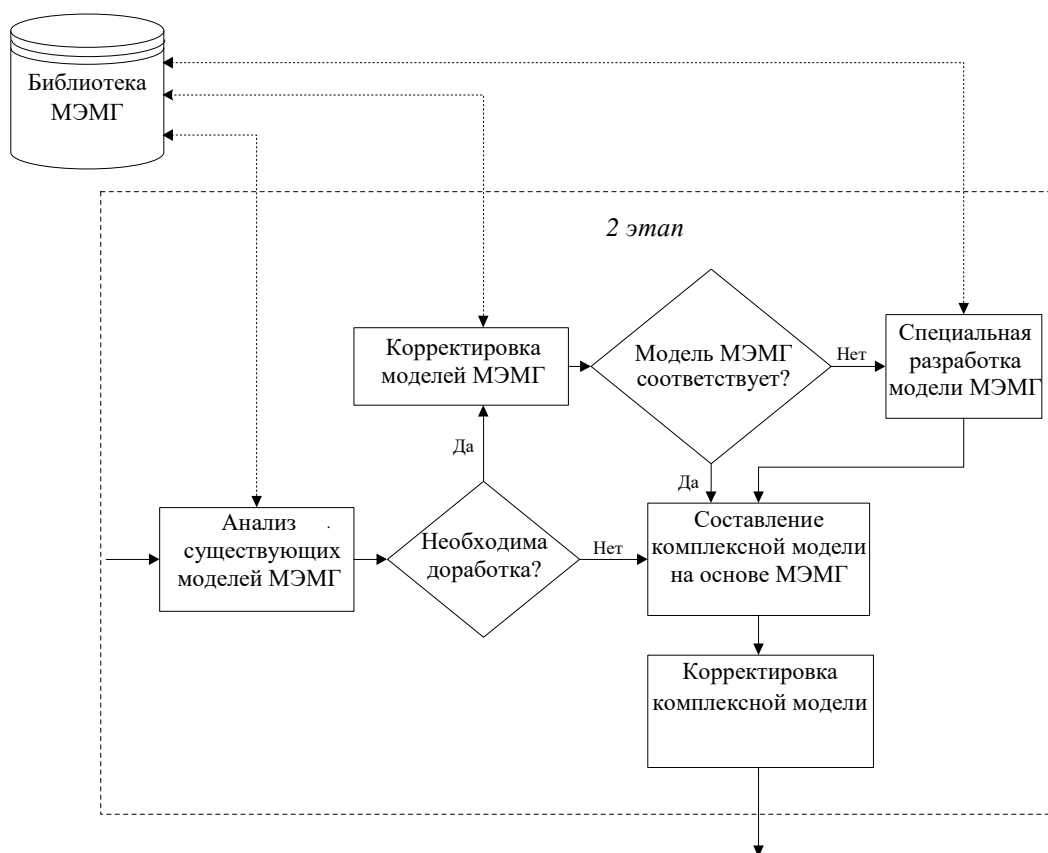


Рисунок 2.10 – Комплектация итоговой модели здания

Комплектация итоговой модели здания реализуется посредством составления объекта из множества МЭМГ, посредством корректировки или детализации универсального МЭМГ, разработки одного или нескольких БКУ специально для проекта [121]. Для максимальной универсальности данного подхода проектирования рационально использовать все способы одновременно [138].

При формировании архитектурных, конструктивных и инженерно-технологических компонентов не требуется дополнительных инструментов разработки информационной модели, за исключением создания семейств или импорта объектов. Таким образом, при разработке комплексной модели имеется возможность создавать не только строительные объекты [97], [98], [99], [101], [103], [124], [127].

2.6. Выводы по главе 2

1. Разработка информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности состоит из двух этапов: разработки единичных модулей и формирования комплексной информационной модели. Каждый этап включает в себя ряд действий, принятие решений и ограничения по моделированию на основе технического задания, назначения объекта, его объема, функциональности и месторасположения. Первый этап формирует практическую базу для наиболее полноценной работы на втором этапе. По результатам рассмотрения методологии сделан вывод о том, что наиболее перспективным решением для рационализации данного подхода проектирования является разработка максимального количества моделей МЭМГ с соответствующей систематизацией и классификацией. Для этого были детально проанализированы возможности, параметры, свойства, характеристики и функционал МЭМГ. На основе данных установлены взаимосвязи и направления повышения эффективности.

2. Сформулированы базовые теоретические основы исследования: понятия, термины, концептуальная методология. Определены основные компоненты, функционал, инструменты, примитивы и способы разработки средств информационного моделирования, которые составляют практическую базу для работы с МЭМГ. Установлены ключевые положения концептуальной методологии проектирования с использованием модульных элементов в условиях информационного моделирования.

3. Для реализации проектирования объекта на основе МЭМГ был детально изучен функционал и возможности программных средств информационного моделирования. На примере программного комплекса Autodesk Revit продемонстрированы различные функции и инструменты, которые позволяют не только в полной мере выполнить разработку модели любого объекта, но и предоставляют возможность решения задач

альтернативными способами. Установлено, что для различных сценариев работы рационально использовать различные подходы и функционал. Также определены недостатки, уязвимости и пути развития в данной методологии работы на разных этапах, что дает основу для поиска и формирования способов повышения эффективности и усовершенствования проектирования объектов.

4. На основе сформулированных недостатков практической части и пробелов теоретической части концепции проектирования определены направления для дальнейшей разработки методики и насыщения фундаментальной базы. Установлена необходимость создания системы классификации, библиотеки блоков, усовершенствования алгоритма формирования блоков, разработки алгоритма построения комплексной модели, а также разработки методики автоматизированного формирования информационных моделей на основе модульных элементов максимальной готовности.

5. Для разработки типовых информационных моделей МЭМГ была сформирована структура ТИМ-блоков – ИМЭМГ. Были определены объемно-планировочные и технологические характеристики для каждого МЭМГ в зависимости от его принадлежности, функции и предполагаемого расположения в пределах будущего объекта, рассмотрены варианты детализации. На основе характеристик МЭМГ сформулированы компоненты ИМЭМГ, которые реализуются посредством инструментария информационного моделирования. Для адаптивности ИМЭМГ к различного рода требованиям и исходным данным предложены уровни детализации. Информационная основа для разработки ИМЭМГ не только упрощает процесс моделирования МЭМГ, но и обеспечивает основу для их систематизации.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЭМГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Оценка рациональности и эффективности использования МЭМГ

3.1.1. Алгоритм определения рациональности применения модульного проектирования на основе значений технико-экономических показателей (ТЭП)

Учитывая разнообразие объектов по назначению и технико-экономическим показателям, можно предположить, что не каждый объект целесообразно реализовывать посредством модульных элементов. Принять решение о модульном проектировании необходимо на максимально ранних этапах проекта. Однако в начале работы над проектом имеется небольшое количество данных о будущем объекте.

Таким образом, возникает потребность в методологии принятия решения о рациональности модульного проектирования на основе основных технико-экономических показателей.

Критерий № 1.

Первая характеристика объекта, которая возникает из деятельности инициатора – назначение объекта. Назначение объекта определяет не только классификационную принадлежность самих МЭМГ, но и технологические особенности объекта, которые определяют возможность реализации модульности.

Согласно наиболее распространенным классификациям объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям (для целей архитектурно-строительного

проектирования и ведения единого государственного реестра заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства) [1], [139], [140], [23], [141], научным источникам [141], [142], [143], [144] и наиболее распространенным наименованиям современного строительства [145], выделяются четыре комплексные группы назначения:

- гражданские (жилые, общественные);
- промышленные (производственные, подсобные, складские, энергетические);
- сельскохозяйственные;
- специализированные.

Критерии № 2 и № 3.

Одновременно с назначением объекта необходимо учитывать и объемные количественные характеристики: этажность и площадь. Модульный принцип характеризуется использованием блок-модулей в их различных комбинациях [48] [146] [47]. Следовательно, чем больше строительный объем здания, тем больше комбинаций МЭМГ.

По этажности существующие классификации достаточно условны и неоднозначны. Однако согласно данным нормативных документов в области проектирования [139], [140], [23], [141], [145], по этажности здания делятся на:

- малоэтажные (1 - 2 этажа);
- средней этажности (3 - 5 этажей);
- многоэтажные (6 и более этажей);
- повышенной этажности (11 - 16 этажей);
- высотные (более 16 этажей).

Классификации зданий по площади не существует, поэтому ее необходимо сформулировать на основании научных источников, анализа современных наиболее распространённых объектов строительства, а также с учетом анализа существующих блок-модулей и других элементов

комплектно-блочного строительства [145], [147]. На основании вышеперечисленного выделяются 5 наименований критериев площади:

- до 100 м²;
- 100-300 м²;
- 300-600 м²;
- 600-1000 м²;
- 1000 м² и более.

Критерий № 4.

Российская Федерация занимает достаточно большую площадь, и будущие объекты могут располагаться в различных областях. Из чего следует необходимость учета климатических поясов [148], [149]. Так как в более суровых условиях сложнее производить строительно-монтажные работы непосредственно на площадке в полном объеме, целесообразно перенести большую часть процессов в заводские условия [150]. Согласно руководству по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса в РФ, выделяются пять климатических поясов, т.е. пять возможных вариантов критерия: I, II, III, IV и особый [151], [152].

Критерий № 5.

Объемные и технические характеристики МЭМГ накладывают определенные ограничения на их транспортировку, логистические задачи и монтажные работы. В связи с этим могут возникнуть проблемы с перемещением ИМЭМГ [153], [154].

Таким образом, целесообразно учесть расположение будущего объекта (строительной площадки) относительно завода-изготовителя при оценке рациональности применения модульного подхода. Основная трудность перемещения заключается в больших габаритах ИМЭМГ относительно полосы дороги, что накладывает ограничения на возможное время транспортировки: время суток с учетом особенностей правил дорожного движения в населенном пункте и за его пределами. Следовательно,

необходимо сформировать критерии для оценки рациональности использования МЭМГ):

- за пределами региона;
- в пределах региона;
- в пределах города.

Для учета всех характеристик – входных данных – и их дальнейшего анализа для получения информации о рациональности модульности, необходима их формализация. Для этого предлагается использование балльного ранжирования для каждой характеристики внутри каждого критерия, а также десятичного веса критерия для определения приоритетов критериев относительно друг друга.

Оценки показателей в данном случае формируют субъективно-когнитивный рейтинг, следовательно, для максимальной объективности и точности необходимы анализ и обобщение профессионального мнения и знаний опытных специалистов. Для формирования данных оценок были приглашены 12 экспертов с опытом работы в области строительства (в том числе модульного) от 3-х до 30 лет, а также различного должностного уровня [155], [156], [157], [158], [159] (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Перечень экспертов

Эксперты	Количество
Специалист в области информационного моделирования	4
Специалист в области модульного строительства	4
Научные сотрудники, занимающиеся исследованиями в данной области	1
Главный инженер проекта	2
Специалист завода-изготовителя	1

Алгоритм определения рациональности применения модульного проектирования заключается в определении зависимости между базовыми технико-экономическими показателями будущего объекта и целесообразностью использования МЭМГ на основе установленных критериев. Зависимость определялась двухэтапной экспертной оценкой с использованием метода априорного ранжирования.

В результате анализа и систематизации модульных объектов и их характеристик были определены пять критериев, влияющих на целесообразность применения МЭМГ в проектировании. Значение каждого критерия также рассмотрены и систематизированы для проведения анализа. Первый этап экспертной оценки заключался в ранжировании критериев относительно важности влияния (вес критерия) [155], [156], [157], [158], [159].

Второй этап – в ранжировании значений в рамках критерия для формирования балльного значения. Значения рассмотренных критериев варьируются от 3 до 8. Данные параметры были переданы экспертам для проведения экспертного опроса. Было рассчитано, что для 3 параметров (минимальное количество значений критерия) достаточно пройти опрос у 10 экспертов (выбрано 12 экспертов). Эксперты должны иметь высшее образование, опыт работы по теме исследования минимум 5 лет и опыт работы в программных комплексах информационного моделирования минимум 3 года.

Для определения согласованности мнений экспертов используется расчет коэффициента конкордации Кэнделла:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где S – сумма квадратов отклонения суммы рангов от средней арифметической суммы рангов, полученных в результате 5-ти бальной оценки экспертов по методу консенсуса;

n – количество исследуемых параметров;

m – количество экспертов.

$$W = \frac{12 \cdot 1114}{12^2 \cdot (5^3 - 5)} = 0,774 \quad (2)$$

Так как $W \geq 0,5$, то доказана согласованность мнений экспертов.

После определения согласованности мнений экспертов воспользуемся расчетом оценки значимости коэффициента конкордации.

С этой целью исчислим критерий согласования Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{m \cdot n \cdot (n+1)} = n \cdot (m - 1) \cdot W, \quad (3)$$

$$\chi^2 = 5 \cdot (12 - 1) \cdot 0,774 = 42,55 \quad (4)$$

Так как расчетный коэффициент Пирсона $42,55 \geq$ табличного (13,28 по уровню значимости $p=0,01$), то величина неслучайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

В рамках второго этапа экспертной оценки были получены балльные оценки в рамках возможных значений каждого критерия. Проверка достоверности и полноценности результатов была выполнена аналогично, по формулам (1) – (4).

Для определения коэффициента значимости критерия оценки эксперты выставляли оценки по каждому наименованию в рамках ранжирования по степени важности. По результатам всех оценок путем вычисления процентной оценки относительно суммарной по всем критериям было получено итоговое значение коэффициента [155], [156], [157], [158], [159]. Данный коэффициент будет использован в дальнейших расчетах для определения возможности применения модульного принципа. (Полный результат экспертной оценки представлен в Приложении А)

Любой из объектов строительства в рамках каждой группы критериев может относиться только к одной позиции. Каждой позиции соответствует конкретная характеристика, относящаяся к определенному диапазону. Исходя из технико-экономических показателей объекта определяется его соотношение с установленным диапазоном в рамках критерия. Детализация по диапазонам внутри критерия выполнена на основе классификаций, предложенных в нормативных документах и научных источниках [41], [60], [77], [93], [94], [98], [99], [101], [102].

Исходя из принадлежности показателя объекта к тому или иному диапазону в рамках критерия, назначается балльная оценка, полученная в результате ранжирования. Таким образом, рассматриваемый объект будет иметь пять различных оценок по пяти группам критериев. Однако для

установления значений балльных оценок необходим анализ оценок экспертов [127], [160].

В данном случае задачей экспертов является установка балльной оценки для каждого диапазона значений внутри критерия (1 балл – наименее целесообразно, n баллов – наиболее целесообразно для модульного проектирования). Максимальная оценка n – число возможных критериев в одной группе [155], [156], [157], [158], [159]. Результирующей балльной оценкой является среднее арифметическое значение среди всех оценок всех экспертов. (Полный результат экспертного анализа представлен в Приложении Б)

Таким образом, с учетом ранее установленных пяти групп критериев, их коэффициентов значимости и внутренних диапазонов возможных значений ТЭПов объекта с балльной оценкой, формируется таблица, включающая в себя все необходимые данные для выполнения расчета рациональности применения модульного проектирования (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Систематизация критериев оценки рациональности

Вес критерия (CW)	Название критерия		Обозначение	Оценка	W (>0,5)	χ_p^2 (> χ_T^2)
0,18	Гражданские	Жилые	C.R	7,58	0,955	84,013 (18,48)
		Общественные	C.P	7,42		
	Промышленные	производственные	IN.P	1,42		
		подсобные	IN.A	3,50		
		складские	IN.S	5,58		
		энергетические	IN.E	1,58		
	Сельскохозяйственные	A	3,50			
Специализированные	S.x	5,42				
0,28	Количество этажей (F)	1-2 этажа	F1	4,75	0,851	46,826 (13,28)
		3-5 этажей	F2	4,25		
		6-10 этажей	F3	2,67		
		11-16 этажей	F4	2,00		
		17 и более этажей	F5	1,33		
0,20	Общая площадь (OS)	до 100 м ²	OS1	1,33	0,889	48,889 (13,28)
		100-300 м ²	OS2	1,83		

Вес критерия (CW)	Название критерия		Обозначение	Оценка	W (>0,5)	χ_p^2 (> χ_T^2)
		300-600 м ²	OS3	2,83		
		600-1000 м ²	OS4	4,83		
		1000 м ² и более	OS5	4,17		
0,08	Климатический пояс (КР)	I	КР1	1,25	0,876	48,201 (13,28)
		II	КР2	1,92		
		III	КР3	2,83		
		IV	КР4	4,50		
		Особый	КР5	4,50		
0,25	Логистика (L)	В пределах города	L1	2,75	0,507	16,729 (9,21)
		В пределах региона	L2	1,92		
		За пределами региона	L3	1,33		

Степень возможности применения модульного подхода для проектирования конкретного объекта определяется на основе значения Индекса рациональности (IR), который формируется с учетом ТЭПов будущего объекта в соответствии с данными таблицы 3.2 по формуле (5):

$$(IR) = CW_{GO} \times GO + CW_F \times F + CW_{OS} \times OS + CW_{KP} \times KP + CW_L \times L, \quad (5)$$

$$IR_{MIN} = CW_{GO} \times GO_{MIN} + CW_F \times F_{MIN} + CW_{OS} \times OS_{MIN} + CW_{KP} \times KP_{MIN} + CW_L \times L_{MIN}, \quad (6)$$

$$IR_{MAX} = CW_{GO} \times GO_{MAX} + CW_F \times F_{MAX} + CW_{OS} \times OS_{MAX} + CW_{KP} \times KP_{MAX} + CW_L \times L_{MAX} \quad (7)$$

Для рассматриваемого объекта строительства любого масштаба и технологической направленности уже на стадии концепции (после разработки технического задания) имеется возможность расчета индекса рациональности, т.е. определения формата дальнейшей деятельности в рамках модульного строительства. Однако значение индекса без его интерпретации не имеет информационного значения. Следовательно, необходимо сформировать соответствующую шкалу для анализа полученного индекса [155], [156], [157], [158], [159].

Учитывая данные таблицы 3.2. и формулу (5) можно сделать вывод о том, что объект может иметь минимальное значение индекса (формула (6)) – 1,341 (например, семнадцатизэтажное производственное строение площадью

90 м², расположенное в Ивановской области), и максимальное (формула (7)) – 4,766.

Для упрощения интерпретации результатов предлагается установить 3 уровня применения: низкий – применение нерационально, средний – требуется дополнительный анализ, высокий – применение рационально. Диапазон значений для каждого уровня определить следующим образом:

1. Низкий уровень применения.

1.1. Нижняя граница диапазона: IR_{MIN} (формула (6)).

$$\frac{2*IR_{MIN} + IR_{MAX}}{3} \quad (8)$$

1.2. Верхняя граница:

2. Средний уровень применения.

$$\frac{IR_{MIN} + 2*IR_{MAX}}{3} \quad (9)$$

2.1. Верхняя граница:

3. Высокий уровень применения: IR_{MAX} (формула (7)).

Таким образом, соответствие уровням применения определяется по следующим значениям индекса рациональности (таблица 3.3):

Таблица 3.3 – Интерпретация индекса рациональности

Уровень применения	Значение индекса рациональности
Высокий	3,625 - 4,766
Средний	2,484 - 3,624
Низкий	1,341 - 2,483

При получении индекса низкого уровня дальнейшая работа по модульному проектированию нецелесообразна; при среднем уровне необходимо выполнить дополнительный анализ с рассмотрением большего количества параметров, в том числе экспертный; при получении индекса высокого уровня применение модульного подхода рационально, следовательно, необходимо приступать к следующему этапу – определению эффективности использования МЭМГ [155], [156], [157], [158], [159].

3.1.2. Алгоритм определения эффективности использования МЭМГ

При более детальном рассмотрении проектирования на основе МЭМГ можно сделать вывод о том, что одного определения рациональности недостаточно: проектирование включает в себя большое количество задач, которые могут выполняться различными способами. При использовании того или иного инструмента каждый этап выполняется с разной степенью успешности с точки зрения скорости, качества и универсальности данных для дальнейших работ. В результате общая эффективность проектирования определяется суммарно по всем задачам и процессам. Применение средств информационного моделирования также может давать различные производственные эффекты [155], [156], [157], [158], [159].

Весь спектр задач модульного проектирования может выполняться как на основе информационного моделирования, так и без него. Следовательно, способ решения той или иной задачи в данном случае влияет на эффективность ее выполнения. Это в свою очередь оказывает влияние на этапы жизненного цикла [127].

Таким образом, для определения предварительной результативности использования МЭМГ необходимо установить возможность и эффективность применения инструментов информационного моделирования для основных задач проектирования на основе МЭМГ. Для решения данной задачи предлагается выполнить следующие действия:

1. Сформировать основные задачи проектирования на основе МЭМГ;
2. Определить функциональные возможности информационного моделирования для решения задач проектирования на основе МЭМГ;
3. Определить возможность выполнения задач проектирования на основе МЭМГ в совокупности с функционалом информационного моделирования;

4. Определить степень эффективности решения задач проектирования на основе МЭМГ инструментами информационного моделирования;

5. Проанализировать результаты и сформировать выводы по всем задачам проектирования на основе МЭМГ с точки зрения ТИМ-реализации.

Для выполнения вышеперечисленных действий используется анализ особенностей и модульного проектирования, и информационного моделирования, рассмотренного в Главах 1 и 2. На основе данных научно-технических источников [72], [94], [95], [96], [102], [127], нормативно-правовых актов [37], [44], [154], анализа строительства современных модульных объектов [39], [105], [107], [127], а также практических знаний и опыта экспертов в данной области, формируются основные положения, понятия, взаимосвязи, процессы и показатели.

Выявление и обработка отношений в рамках задачи оценки эффективности выполняется на основе данных экспертных оценок и функциональных зависимостей.

I. Формирование основных задач проектирования на основе МЭМГ.

В строительном производстве существует большое количество видов деятельности, существуют разные виды задач и процессов. В зависимости от назначения объекта, его технико-экономических показателей и способа строительства формируется поэтапный перечень задач в рамках жизненного цикла. Для объектов модульного строительства существует аналогичный перечень, который характерен для модульности. В отличии от других подходов добавляется этап производства модулей за пределами строительной площадки. Для рассмотрения вопроса предлагается проанализировать первые три этапа жизненного цикла с отдельно выделенным этапом производства МЭМГ:

- концепция;
- проектирование;
- производство МЭМГ;

– строительно-монтажные работы.

На основе анализа каждого направления формируется перечень задач для дальнейшего рассмотрения экспертами и специалистами-практиками в области модульного строительства и информационного моделирования [98], [104], [107]. В рамках рассматриваемых этапов жизненного цикла выделены ключевые задачи, которые в разной степени необходимы для строительства тех или иных объектов [161] (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Основные задачи проектирования модульных проектов

Этап ЖЦ	Основные задачи	Обозначение
Концепция	Разработка технического задания	W1
	Анализ рациональности применения модульного проектирования	W2
Проектирование	Расчет количества МЭМГ	W3
	Формирование требований МЭМГ	W4
	Разработка задания на моделирование МЭМГ	W5
	Выбор ИМЭМГ из библиотеки	W6
	Разработка или доработка ИМЭМГ	W7
	Моделирование ИМЭМГ в среде информационного моделирования	W8
	Формирование комплексной информационной модели	W9
	Календарное планирование	W10
	Сметная документация	W11
	Проверка и верификация модели	W12
	Формирование документации	W13
Производство МЭМГ	Производство МЭМГ	W14
	Проверка МЭМГ	W15
	Формирование требований для трансфера МЭМГ	W16
	Разработка графика транспортировки МЭМГ	W17
	Отделочные работы	W18
СМР	Автоматизация календарного планирования	W19
	Планирование работ по транспортировке и управление ими	W20
	Планирование подъемных работ и управление ими	W21
	Технический надзор	W22

Таким образом, сформирован перечень основных задач модульного проектирования, потенциально пригодных для решения или улучшения функционала различных средств информационного моделирования. Далее необходимо экспертное рассмотрение для определения наиболее перспективных задач модульного строительства с точки зрения интеграции с технологиями информационного моделирования [161].

II. Определение функциональных возможностей информационного моделирования для решения задач проектирования на основе МЭМГ.

Для множества видов деятельности в области модульного строительства применимы инструменты информационного моделирования. Однако не каждая функция ТИМ применима и целесообразна для решения задач модульного строительства. Таким образом, необходимо определить соответствие задач модульного строительства и функций ТИМ с точки зрения возможности реализации, рациональности и перспективы улучшения.

Следующий этап заключается в формировании аналогичного перечня функциональных возможностей информационного моделирования, адаптированных для задач модульного проектирования. Особенностью формирования соответствующего ТИМ-функционала является разнообразие инструментов и примитивов в различных программных комплексах. Одни и те же инструменты могут быть использованы в разных интерпретациях и могут решать различные задачи [112], [27], [113]. Также одна и та же задача может быть решена различными инструментами или их группой.

Следовательно, целесообразно сгруппировать инструментарий информационного моделирования по целевому назначению без дополнительной детализации. Каждая функция относительно других может отличаться по объему выполнения и количеству внутренних подзадач [81], [114], [161] (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Функции ТИМ для модульных проектов

№	Функция ТИМ	Обозначение
1	Моделирование ИМЭМГ	T1
2	Моделирование стыков и узлов	T2
3	Формирование библиотеки ИМЭМГ	T3
4	Моделирование СГП	T4
5	Формирование комплексной информационной модели	T5
6	Формирование чертежей и документации	T6
7	Создание ND-модели	T7
8	Формирование работ по транспортировке внутри площадки	T8
9	Формирование отчетных документов	T9
10	Визуализация	T10

Часть задач из данного перечня функций можно выполнить и стандартными средствами, однако с целью повышения эффективности проектирования и строительства необходимо рассмотреть именно выполнение посредством информационного моделирования. Дальнейший экспертный анализ будет выполняться с целью определить не только необходимость использования каждой функции, но и перспективные направления улучшения и рационализации функционала [155], [156], [157], [158], [159].

III. Определение возможности выполнения задач проектирования на основе МЭМГ в совокупности с функционалом информационного моделирования.

Применение ТИМ-функций для модульного строительства не означает возможность и эффективность применения для всех его задач. Некоторые из них могут быть полностью решены средствами информационного моделирования, часть – с использованием других инструментов.

Следовательно, лицо принимающее решение, должно обозначить ключевые задачи модульного строительства и назначить соответствующий инструмент ТИМ. Для этого необходимо составить реляционную матрицу ключевых задач и функций ТИМ (совокупность таблиц 3.4 и 3.5).

Формирование матрицы выполнялось в 3 этапа работы с экспертами:

1. На основе анализа всех возможностей функционала информационного моделирования [80], [97], [98], [99] была составлена предварительная матрица, которая включает в себя обозначение отношений тех ТИМ-функций, которые могут полноценно выполнить все ключевые задачи модульного проектирования.

2. На втором этапе эксперты дополнили матрицу новыми отношениями задач и функций. В результате анализа собранных экспертных данных были внесены в матрицу те отношения задач и функций, которые были обозначены более, чем половиной экспертов.

3. Итоговая матрица, как совокупность данных первого и второго этапа, была предоставлена на согласование каждому эксперту. Возражений по

актуализированной командой экспертов матрице не поступило. Следовательно, итоговая матрица может быть использована для дальнейшего анализа. Полноценная матрица представлена в Приложении В.

IV. Определение степени эффективности решения задач проектирования на основе МЭМГ инструментами информационного моделирования.

Для максимизации эффективности применения функций информационного моделирования необходима информация, насколько важна конкретная функция ТИМ, и в какой степени можно ожидать улучшения реализации той или иной задачи модульного строительства.

Эффективность функций ТИМ можно представить в виде показателя – индексов эффективности. Индекс вычисляется в результате опроса экспертов на основе 5-балльной шкалы: чем выше индекс, тем больше он может быть определен как полезный.

Значение индекса эффективности (EI) вычисляется на основе следующей формулы:

$$\text{Индекс эффективности (EI)} = \frac{\sum_i^5 \omega_i \times \frac{f_i}{n} \times 100}{a \times 100}, \quad (10)$$

где i – порядковый номер оценок по задачам и функции ВИМ;

ω_i – балл эффективности по пятибалльной шкале для функций ВИМ;

f_i – количество оценок каждого балла;

a – максимальная оценка в рамках одной задачи;

n – количество экспертов.

Для получения пятибалльных оценок был проведен опрос среди той же группы экспертов, которая была рассмотрена в разделе 3.1.1. Каждый эксперт выставлял субъективную оценку от 1 до 5 для каждой ТИМ-функции по соответствующей задаче модульного строительства в рамках матрицы отношений (Приложение В). Оценки по индексу были ответом на вопрос:

насколько эффективна функция-ТИМ по сравнению с консервативной методикой (не ТИМ)?

Результаты опроса в виде расчёта показателя индекса эффективности по формуле (10) представлены в Приложении Г.

V. Анализ результатов и формирование выводов по всем задачам проектирования на основе МЭМГ с точки зрения ТИМ-реализации.

Полученные в результате расчета индексов значения формируют итоговую картину эффективности применения технологий информационного моделирования. Анализ полученной таблицы позволяет определить как наиболее благоприятные для ТИМ-реализации задачи модульного строительства, так и наиболее универсальные функции и инструменты ТИМ. Одновременно можно увидеть, какие функции необходимо доработать для полноценного решения задачи, а какие разработать дополнительно. Для более детального анализа представлены промежуточные данные по каждому рассматриваемому этапу жизненного цикла, а также итоговые значения по каждой задаче и функции. Таким образом, матрица дает объем информации для большого количества специалистов [155], [156], [157], [158], [159].

Степень эффективности определяется по числовому значению итоговой оценки от 0 до 1 – от «невозможно применить» до «наилучшее эффективное применение». Целесообразно установить пороговое значение 0,5 баллов для разделения на положительную и отрицательную оценку для дальнейшей работы. В результате анализа можно сформировать следующие выводы (таблица 3.6):

Таблица 3.6 – Анализ результатов матрицы индексов

№	Характеристика	Критерий	Вывод
1.	ТИМ-реализуемые задачи модульного строительства	от 50% инструментария применимо, средний индекс	<ul style="list-style-type: none"> – W7 Разработка или доработка ИМЭМГ – W8 Моделирование ИМЭМГ в среде информационного моделирования

№	Характеристика	Критерий	Вывод
		по функциям более 0,5	<ul style="list-style-type: none"> W9 Формирование комплексной информационной модели W14 Производство МЭМГ W15 Проверка МЭМГ W20 Планирование подъемных работ и управление ими W21 Планирование стыковых работ и управление ими
2.	ТИМ-нереализуемые задачи модульного строительства	менее 50% инструментария применимо, средний индекс по функциям менее 0,5	<ul style="list-style-type: none"> W1 Разработка технического задания W2 Анализ целесообразности использования модульного подхода W3 Расчет количества МЭМГ W4 Формирование требований МЭМГ W5 Разработка задания на моделирование МЭМГ
3.	Задачи, которые могут быть решены более эффективно при условии усовершенствования инструментария	менее 50% инструментария применимо, средний индекс по функциям более 0,5	<ul style="list-style-type: none"> W6 Выбор ИМЭМГ из библиотеки W10 Календарное планирование W11 Сметная документация W12 Проверка и верификация модели W13 Формирование документации W16 Формирование требований для трансфера МЭМГ W17 Разработка графика транспортировки МЭМГ W18 Отделочные работы W19 Анализ календарного плана выполнения строительно-монтажных работ W22 Технический надзор
4.	Задачи, для которых применение ТИМ возможно, но не эффективно	средний индекс эффективности менее 0,5	<ul style="list-style-type: none"> W1 Разработка технического задания W3 Расчет количества МЭМГ W4 Формирование требований МЭМГ W6 Выбор ИМЭМГ из библиотеки W13 Формирование документации W16 Формирование требований для трансфера МЭМГ W22 Технический надзор
5.	Универсальные (наиболее применимые)	средний индекс по всем задачам более 80%	<ul style="list-style-type: none"> T1 Моделирование ИМЭМГ T2 Моделирование стыков и узлов

№	Характеристика	Критерий	Вывод
	функции информационного моделирования		<ul style="list-style-type: none"> — T5 Формирование комплексной информационной модели — T7 Создание ND-модели
6.	Функции информационного моделирования, которые необходимо доработать (применимы, но не эффективны)	средний индекс по всем задачам от 60% и до 80%	<ul style="list-style-type: none"> — T4 Моделирование СГП — T8 Разработка карты транспортировки и подъема внутри площадки — T9 Формирование отчетных документов
7.	Функции информационного моделирования, которые целесообразно исключить или заменить	средний индекс по всем задачам менее 60%	<ul style="list-style-type: none"> — T3 Формирование библиотеки ИМЭМГ — T6 Формирование чертежей и документации — T10 Визуализация
8.	На каких рассматриваемых этапах жизненного цикла применение ТИМ наиболее целесообразно и эффективно	100% инструментария суммарно применимо по всем задачам одного этапа	На этапах проектирования, производства МЭМГ и строительства возможно 100% использование ТИМ-функций с положительной общей эффективностью
9.	Задачи модульного строительства, для которых требуется дополнительный анализ, критерии оценки и учет специфики объекта	В рамках одной задачи увеличенный диапазон значений (одновременно значение индексов более 0,5 и менее 0,5)	<ul style="list-style-type: none"> — W6 Выбор ИМЭМГ из библиотеки — W11 Сметная документация — W12 Проверка и верификация модели — W13 Формирование документации — W15 Проверка МЭМГ — W16 Формирование требований для трансфера МЭМГ — W20 Планирование работ по транспортировке и управление ими — W21 Планирование подъемных работ и управление ими
10.	Функции ТИМ, для которых требуется дополнительный анализ, критерии оценки и учет специфики объекта	В рамках одной функции увеличенный диапазон значений (одновременно значение индексов более 0,5 и менее 0,5)	<ul style="list-style-type: none"> — T1 Моделирование ИМЭМГ — T3 Формирование библиотеки ИМЭМГ — T6 Формирование чертежей и документации — T7 Создание ND-модели — T9 Формирование отчетных документов

По результатам анализа матрицы индексов выделяются первостепенные задачи для полноценной реализации на основе инструментов информационного моделирования, а также второстепенные, реализация которых определяется лицом, принимающим решение, исходя из дополнительного анализа. Задачи и функции, имеющие высокий индекс, в некоторых случаях связаны с задачами низкого индекса, что влечет за собой их ТИМ-реализацию независимо от полученных оценок [98], [160].

Следовательно, использование ТИМ-инструментов по комплексу задач модульного строительства, в том числе проектированию на основе МЭМГ и функций информационного моделирования необходимо и эффективно, при условии высокой рациональности (все индексы более 0,5).

Однако для последующей наиболее эффективной разработки проекта на основе МЭМГ необходимо проанализировать соответствующие инструменты ТИМ комплексов, адаптированных для модульного проектирования, (разработка информационных моделей МЭМГ и их составляющих) а также инструменты для формирования итоговой комплексной информационной модели. На основании этого определить параметры структуры типового ТИМ-блока (ИМЭМГ) и разработать алгоритм взаимодействия для построения комплексной информационной модели [155], [156], [157], [158], [159].

3.2. Разработка модели классификации модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ)

Модульный ТИМ-блок или ТИМ-модуль – это цифровая модель комплексной структурной единицы, которая аккумулирует в себе свойства и характеристики нескольких элементов строительных конструкций, выполненных в среде информационного моделирования. Главная характеристика ТИМ-модуля – это представление всех составляющих в одной структурной единице, т.е. в виде блока в любом представлении.

Следовательно, Информационная модель МЭМГ (ИМЭМГ) – фундаментальная базовая единица модульного информационного моделирования, которая представлена в ТИМ-модуле [120].

Для полноценного рассмотрения реализации ТИМ-модуля необходимо сформировать теоретические основы для дальнейшей практической деятельности: понятия, взаимосвязь и классификацию. С точки зрения назначения объекта и функциональности предлагается использовать два направления классификации: классификацию ИМЭМГ и классификацию объектов строительства [59], [96], [104], [105].

Для классификации модульных элементов максимальной готовности необходимо выделить направления группировки свойств для систематизации. Основными характеристиками анализа являются следующие категории:

- назначение объекта;
- функциональная принадлежность;
- геометрические характеристики.

С точки зрения реализации модульного элемента максимальной готовности посредством инструментария информационного моделирования, целесообразно продолжение классификации потенциальных блоков по совокупности геометрических и качественных характеристик модуля и его субэлементов [122].

Формирование модели данных информационной модели модульного элемента максимальной готовности определяется как внутренними атрибутами (размеры, примитивы, материалы, трудоемкость и т.д.), так и внешними (классификация, назначение). Таким образом, информация об ИМЭМГ представляется в виде многомерных данных различного типа.

Один из инструментов работы с многомерными данными – это OLAP технология. OLAP (Online Analytical Processing) - это система аналитической обработки данных, предназначенная для подготовки отчетов, построения прогностических сценариев и выполнения статистических расчетов на базе больших информационных массивов, имеющих сложную структуру.

Специфика работы с данными по принципу OLAP состоит в построении многомерных таблиц, то есть имеющих большое количество связей между отдельными элементами или массивами информации [122], [162], [163], [164].

OLAP позволяет выявлять причинно-следственные связи между разными параметрами, а также моделировать поведение системы при изменениях. Данные в системе OLAP организованы в виде многомерных кубов — по нескольким осям располагаются рассматриваемые параметры, а на их пересечении находятся интересующие данные: имеется возможность выбора нужных параметров и получения информации по разным измерениям [122] (рис. 3.1).

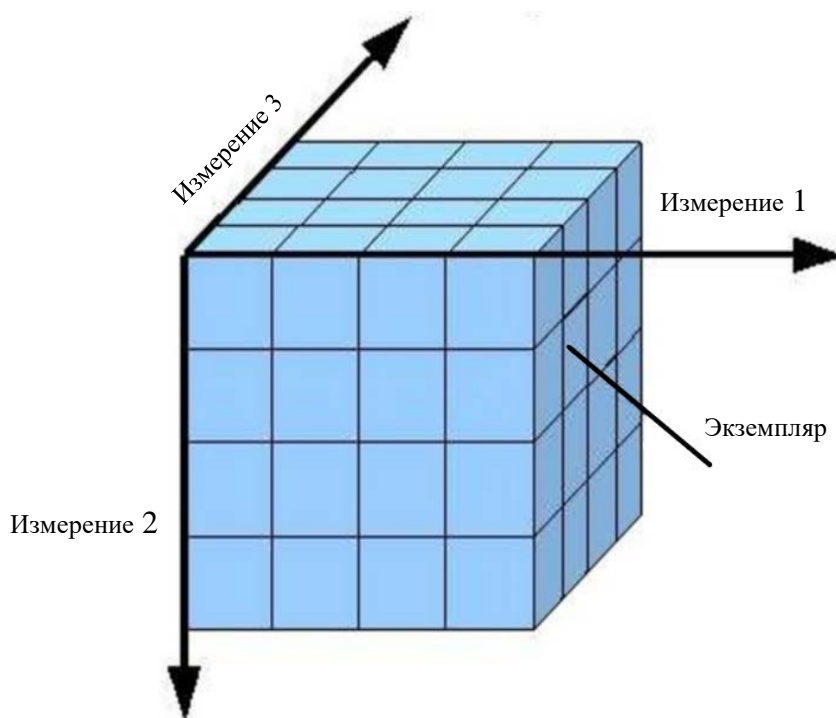


Рисунок 3.1 – Концепция OLAP-куба [122]

Система классификации модульных ТИМ-блоков – ИМЭМГ – формируется на основе ключевых параметров и компонентов в виде трех направлений: размерное (объемно-пространственные характеристики), объектное (назначение объекта) и функциональное (функция ИМЭМГ) [122].

1. Классификация по объемно-пространственным характеристикам.

На основе базовых параметров ИМЭМГ, рассмотренных в разделах 2.3 и 3.2, формируются различные экземпляры размерной классификации по

длине, высоте и ширине ИМЭМГ. Данное направление классификации соответствует атрибутам типоразмера 1-го уровня (рис. 2.6).

С учетом ограничений объемно-планировочных характеристик ИМЭМГ, рассмотренных в разделе 2.3, данное направление классификации включает в себя исключительно размерные экземпляры. Все экземпляры классификации соответствуют как линейным требованиям, так и относительным (соотношение сторон).

Данное направление классификации обеспечивает геометрические ограничения или выявляет их для возможности дальнейшей автоматизации при построении комплексной модели на этапе проектирования, а также для автоматического построения вариантов эскизных моделей на предпроектном этапе.

2. Назначение объекта.

Второе направление классификации относится непосредственно к будущему объекту строительства. С точки зрения геометрии и реализации классификация МЭМГ может быть применена в рамках объекта любого назначения и строительного объема. Однако не для каждого объекта эффективно применение модульного проектирования. На основе исходных данных – технического задания – возможно определить целесообразность использования МЭМГ. Учитывая производственные возможности и особенности функционирования объекта формируется объектная классификация, которая дает базу для алгоритма построения комплексной модели в виде дополнительных данных об объекте (см. раздел 3.1.1).

В структурном виде классификация назначения будущих объектов представлена на рисунке 3.2.

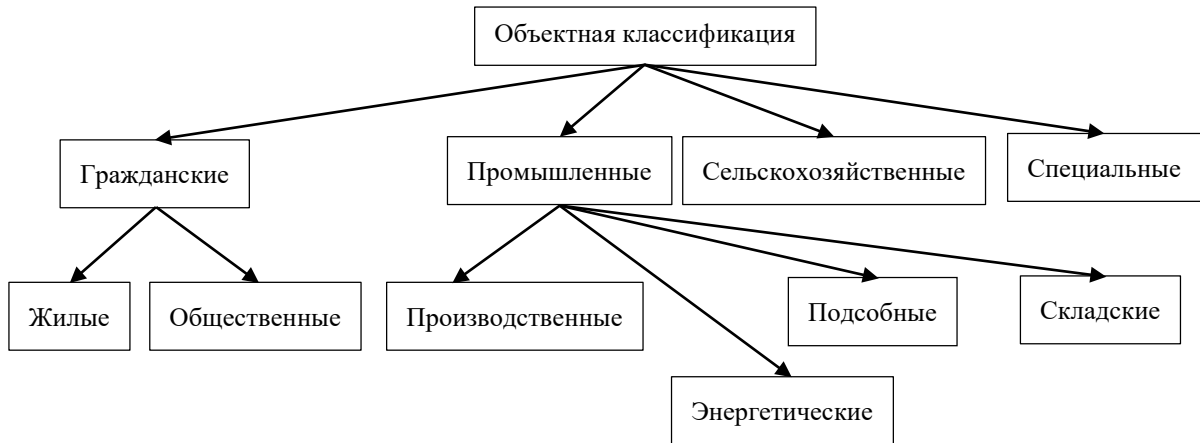


Рисунок 3.2 – Классификация объектов по назначению

По назначению все объекты подразделяются на гражданские, промышленные и сельскохозяйственные. Однако с учетом быстрых темпов развития цифровизации, появления новых объектов, а также потребностей высокотехнологичных инженерных сооружений необходимо учитывать группу зданий, которую сложно однозначно идентифицировать в существующей системе. Данная группа определяется обобщенно, как специализированные здания с привязкой по отраслям деятельности. Например, к данной группе относятся центры обработки данных – объекты для размещения серверного, сетевого и информационного оборудования [145].

Некоторые группы объектов имеют дополнительную внутреннюю классификацию согласно своей специфике: гражданские здания подразделяются на жилые и общественные, промышленные – на производственные, подсобные, складские и энергетические. Специализированные здания с учетом их принадлежности к сфере функционирования соответственно подразделяются на отрасли (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Объектная классификация

Группа объектов		Обозначение
Гражданские	Жилые	С.Р
	Общественные	С.Р

Группа объектов		Обозначение
Промышленные	Производственные	IN.P
	Подсобные	IN.A
	Складские	IN.S
	Энергетические	IN.E
Сельскохозяйственные		A
Специализированные		S.x

Независимо от принадлежности объекта, любое здание и сооружение имеет горизонтальную и вертикальную характеристику. С точки зрения особенностей строительных объектов, данные характеристики заключаются в таких технико-экономических показателях, как высота и общая площадь. Однако с учетом модульного подхода для дальнейшей работы нас интересует количество этажей и площадь застройки.

3. Функциональность ИМЭМГ.

Каждый составляющий итоговую модель ИМЭМГ выполняет определенную архитектурно-конструктивную функцию в объекте. В частных случаях один и тот же ИМЭМГ может выполнять схожие функции, однако для классификации необходимо выделить конкретный функциональный параметр.

В основе классификации по функциональности ИМЭМГ – СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения» [121], согласно которому ИМЭМГ подразделяется на семь групп, каждая из которых выполняет определенную функцию:

- основной модуль;
- упрощенный модуль;
- модуль мест общего пользования (МОП);
- модуль эвакуационно-лестничного узла;
- блок-модуль шахты лифта;
- блок многоэтажной системы балконов;
- вход.

При совмещении трех направлений формируется комплексная трехмерная классификация модульных элементов максимальной готовности: назначение объекта, функция ИМЭМГ внутри объекта и его объемно-пространственные характеристики в рамках ранее рассмотренных ограничений и 1-го уровня типоразмера.

Данная система классификации типовых МЭМГ предназначена для систематизации основных разновидностей МЭМГ, для автоматизации оценки возможности разработки проекта посредством модульного подхода, а также реализации алгоритма построения комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ [122].

Форма классификации представляется в виде OLAP-куба: трехмерной матрицы по назначению объекта, функциональности каждого МЭМГ и типовым размерам. Модель OLAP обеспечивает структурированное хранение данных и позволяет выполнять аналитические операции по их анализу и обработке [122] (рис. 3.3).

Интересующие элементы – экземпляры, которые формируются путем пересечения трех рассматриваемых измерений. При пересечении выделяется строго один элемент, в случае его наличия, или пустой элемент, если не существует экземпляра (например, блок-модуль шахты лифта не требуется для складских или энергетических объектов) [122].

На основе классификации формируется порядок хранения и обработки ИМЭМГ в соответствующей библиотеке – базе данных ИМЭМГ, к которой обращаются и заинтересованные специалисты, и алгоритмы автоматизации оценки и формирования итоговой информационной модели объекта строительства.

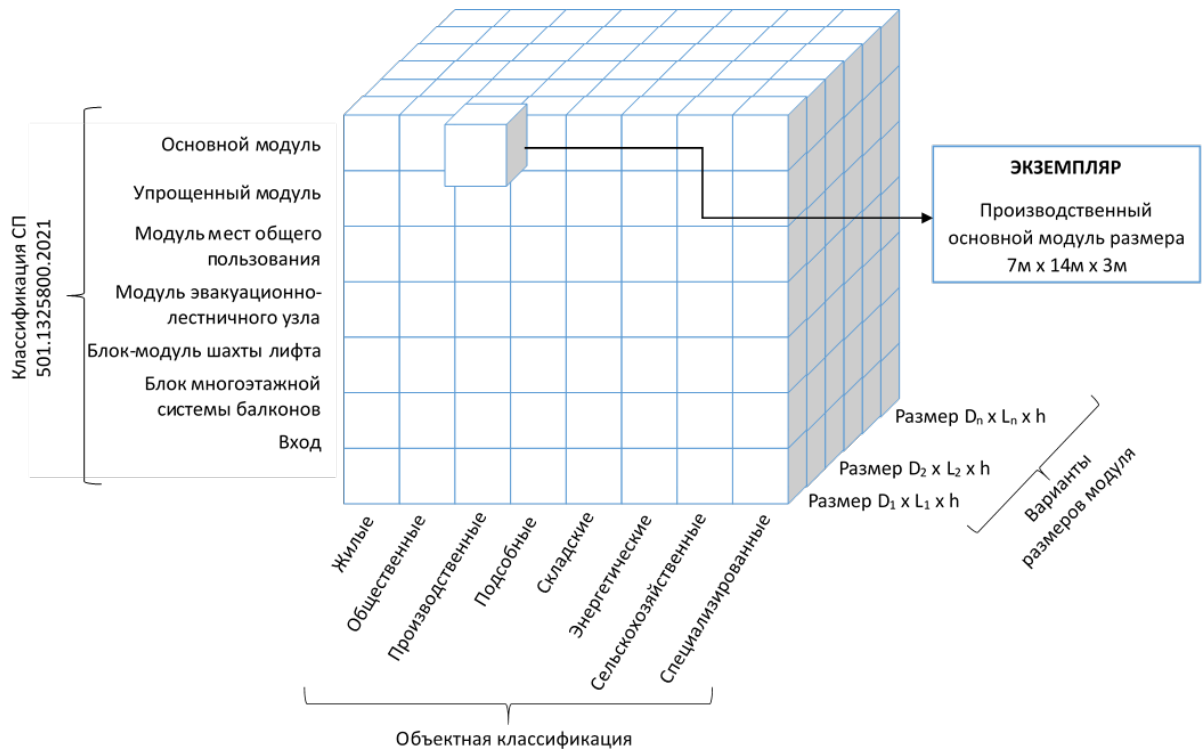


Рисунок 3.3 – Представление информации о ИМЭМГ в виде OLAP-куба [122]

3.3. Алгоритм построения комплексной информационной модели на основе применения модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ)

Алгоритм формирования комплексной информационной модели на основе МЭМГ – это процесс, который включает в себя не только способы моделирования, но и методологию использования информационного моделирования и формат работы специалистов. Исходя из анализа специфических особенностей проектирования на основе МЭМГ относительно традиционных процессов, формирование алгоритма становится более детализированным.

Для максимальной координации и актуализации работы по моделированию необходим постоянный обмен информацией с библиотекой информационных моделей МЭМГ (ИМЭМГ) с целью поиска, корректировки или добавления ИМЭМГ [102].

С точки зрения организации работы и специфики моделирования алгоритм делится на два больших этапа: подготовка множества ИМЭМГ и формирование итоговой информационной модели на основе МЭМГ. Связь этих этапов осуществляется посредством библиотеки МЭМГ [165], [166], [167].

На основе технического задания и данных исходно-разрешительной документации, после расчета рациональности и необходимости применения проектирования на основе МЭМГ выполняется работа по непосредственному моделированию с учетом специфики структуры ИМЭМГ и их классификации.

I этап.

Цель работы первого этапа заключается в подготовке множества ИМЭМГ к интеграции в итоговую модель второго этапа. Для установленного количества МЭМГ в будущем объекте формируются цифровые двойники в виде ИМЭМГ. Полный объем ИМЭМГ в рамках принятой классификации располагается в библиотеке ИМЭМГ. Моделирование каждого ИМЭМГ выполняется в следующей последовательности:

1. Разработка технического задания на моделирование МЭМГ.

Для моделирования МЭМГ необходимы ряд показателей, без которых разработка затруднительна. Техническое задание в данном случае включает в себя точные количественные данные в рамках отношения к той или иной группе классификации, представленной разделе 3.2: все необходимые размеры и особенности формы, а также технологическую особенность.

2. Разработка составляющих элементов МЭМГ.

Моделирование МЭМГ включает в себя объединение в одну полноценную единицу в рамках программного комплекса групп элементов различного назначения, представленных в таблице 2.4. Большая часть составляющих элементов представлена в качестве стандартных инструментов и примитивов программных средств информационного моделирования (таблица 2.5), однако, может возникнуть необходимость разработки нестандартного элемента, который будет смоделирован или откорректирован

дополнительно соответствующим инструментарием. После подготовки всех компонентов появляется возможность их сборки в ИМЭМГ.

3. Информационное моделирование МЭМГ.

На основе полученных на предыдущем этапе моделей компонентов необходимых параметров выполняется их объединение в одну единицу – ИМЭМГ. Объединение элементов в одну единицу информационного моделирования может выполняться тремя способами по решению специалиста или требованию ТЗ: группировка, сборка и разработка семейств. Все ИМЭМГ независимо от способа объединения могут комбинироваться между собой и также объединяться в более крупные группы.

Каждый ИМЭМГ после разработки отправляется в библиотеку ИМЭМГ. Расположение в библиотеке ИМЭМГ определяется в соответствии с обозначенным в таблицах 2.4 и 2.5. В дальнейшем к данной библиотеке будут обращаться при разработке комплексной модели объекта [168], [169].

При наличии достаточного количества ИМЭМГ необходимых свойств продолжительность первого этапа значительно сокращается. Следовательно, при увеличении количества ИМЭМГ и их разнообразии суммарная длительность проектирования значительно сокращается за счет минимизации процессов внутри обоих этапов, связанных с полноценным моделированием конкретного МЭМГ.

II этап.

Цель второго этапа – разработка комплексной информационной модели как пространственной комбинации подготовленных на первом этапе ИМЭМГ. Требуемые ИМЭМГ хранятся в библиотеке согласно установленной систематизации, основанной на классификации. Однако на втором этапе может возникнуть необходимость корректировки того или иного ИМЭМГ, что повлечет за собой возвращение к первому этапу [107], [166].

Разработка комплексной информационной модели выполняется в следующей последовательности:

1. Анализ существующих в библиотеке ИМЭМГ.

Данная задача заключается в предварительной оценке имеющихся ИМЭМГ в рамках соответствия будущей модели, а не друг другу. Также на данном этапе возможно без дополнительных трудовых затрат адаптироваться под изменения в техническом задании при их наличии. В случае полноценной разработки требуемого количества ИМЭМГ вероятность необходимости корректировки минимальна. В случае максимального использования ранее разработанных ИМЭМГ необходимость их корректировки или дополнения наиболее вероятна.

2. Необходимость корректировки.

По данным предыдущего этапа принимается решение о необходимости и объеме корректировки. Следовательно, по результатам данного этапа возможны 2 варианта дальнейших действий: корректировка или дальнейшая работа [170], [171].

2.1. Корректировка.

По результатам анализа формируется техническое задание на корректировку ИМЭМГ в любой форме. Согласно его требованиям, производится модификация ИМЭМГ с дублированием, а также повышение уровня детализации. Корректировка выполняется аналогично полноценной разработке на основе инструментов и примитивов программных средств информационного моделирования (таблица 2.5).

2.2. Повторный анализ ИМЭМГ.

После корректировки существующих ИМЭМГ выполняется повторный анализ на соответствие требованиям. В большинстве случаев повторный анализ показывает полное соответствие требованиям ИМЭМГ, из чего следует переход к 3 шагу. Однако даже на этом этапе могут возникнуть проблемы корректировки, что приводит к дополнительной разработке нового ИМЭМГ.

2.3. Специальная разработка ИМЭМГ.

Специальная разработка ИМЭМГ требуется в случае неудачной корректировки. Данный вариант разработки характерен для ИМЭМГ,

относящимся к специальным и технически сложным объектам за счет дополнительной разработки нестандартных деталей и элементов.

После разработки последних несоответствующих ИМЭМГ появляется возможность для перехода к выполнению дальнейших действий.

3. Составление комплексной модели на основе ИМЭМГ.

На основе разработанных, подготовленных или адаптированных ранее ИМЭМГ поэтапно в рамках установленных габаритов выполняется блочная сборка в одну итоговую модель. Направление и порядок в данном случае не имеют значения. Особенности их состыковки и крепления между собой на данном этапе отсутствуют, так как данные задачи решены на этапах разработки ИМЭМГ.

На данном этапе большое значение имеет правильное расположение каждого ИМЭМГ в пространстве и относительно друг друга. Это обеспечивает корректность и автоматическую состыковку. Вероятность ошибок минимальна, так как предварительный подбор ИМЭМГ в рамках классификации обеспечивает комплекс единиц ИМЭМГ для комплексной модели.

4. Проверка комплексной информационной модели на соответствие техническому заданию.

Финальная проверка заключается в дополнительной верификации не самостоятельных ИМЭМГ, а итоговой комплексной модели. По базовым показателям технического задания, на основе которого были сформированы локальные задания на моделирование ИМЭМГ, выполняется сопоставление. С учетом возможностей средств информационного моделирования проверка выполняется автоматизированным способом с минимальными трудовыми затратами.

4.1. Дополнительная корректировка комплексной модели.

При возникновении несоответствий выполняется дополнительная корректировка ИМЭМГ, исходя из особенностей ошибок. При корректировке одного ИМЭМГ автоматически заменяются все применяемые ИМЭМГ. После

решения всех задач по корректировке модель отправляется на повторную проверку.

Графическая форма алгоритма представлена на рисунке 3.4.

Наиболее рутинный шаг данного алгоритма – это составление комплексной модели из имеющихся ИМЭМГ. Для ускорения и упрощения этого шага был разработан инструмент автоматизации.

С помощью инструмента визуального программирования DYNAMO разработан скрипт, который позволяет автоматически выстраивать модель из заранее выбранных блоков. Графическая форма скрипта представлена на рисунке 3.5.

Исходными данными для работы скрипта являются группы объектов, представляющих собой ИМЭМГ, и размеры будущего объекта. Концептуально скрипт состоит из 4-х групп узлов (узел программного кода) по промежуточным задачам:

1. Ввод исходных данных.
2. Установка категорий ИМЭМГ по расположению в модели.
3. Расчет координат точек вставки ИМЭМГ.
4. Расстановка ИМЭМГ по рассчитанным координатам точек.

В итоге автоматически выстраивается комплексная модель из необходимых ИМЭМГ – ТИМ-блоков. Данный скрипт может быть использован для любых групп объектов как в качестве инструмента моделирования на этапе проектирования, так и в качестве инструмента вариативного проектирования на предпроектном этапе.

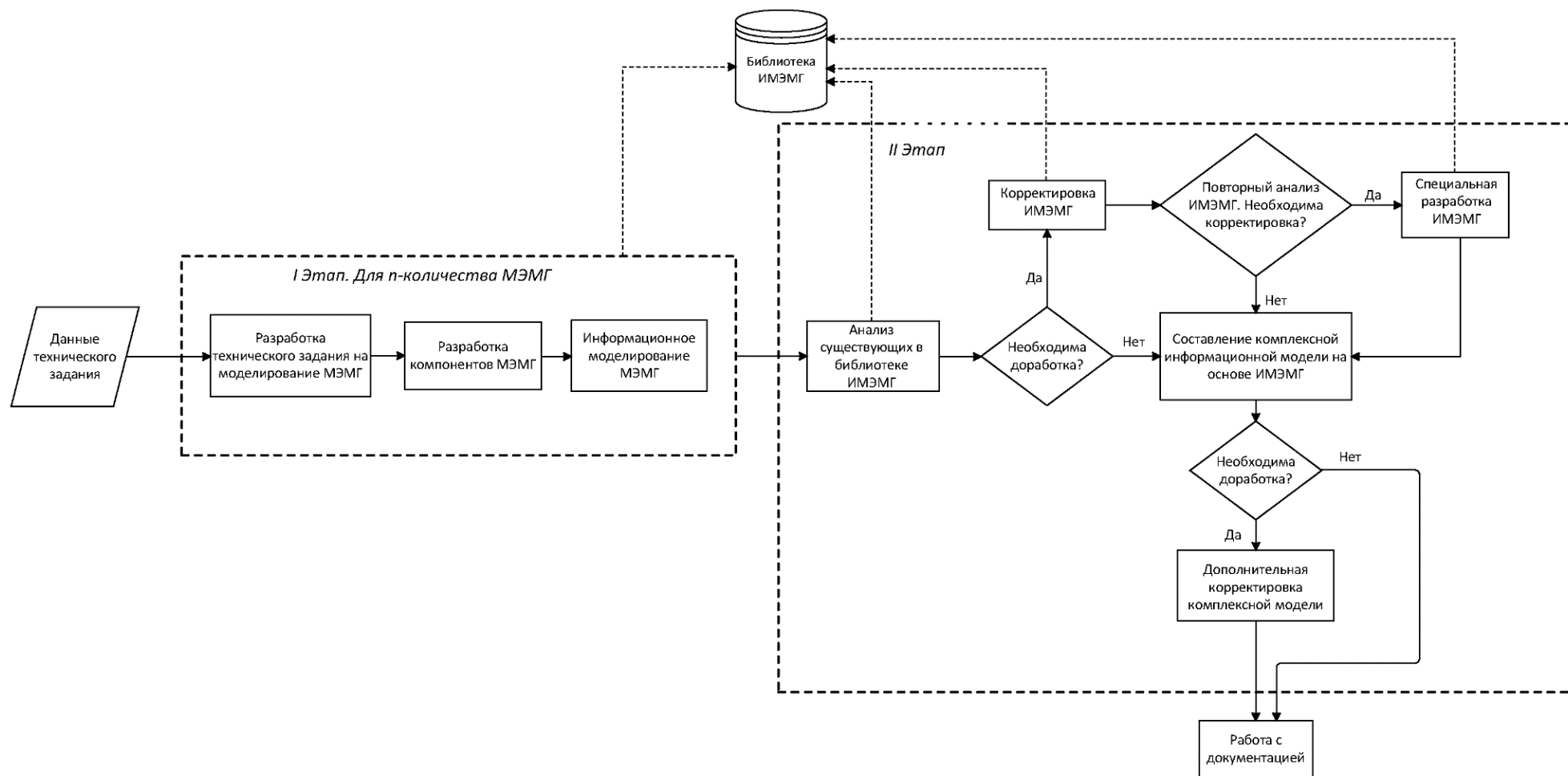


Рисунок 3.4 – Схема алгоритма формирования комплексной информационной модели на основе МЭМГ

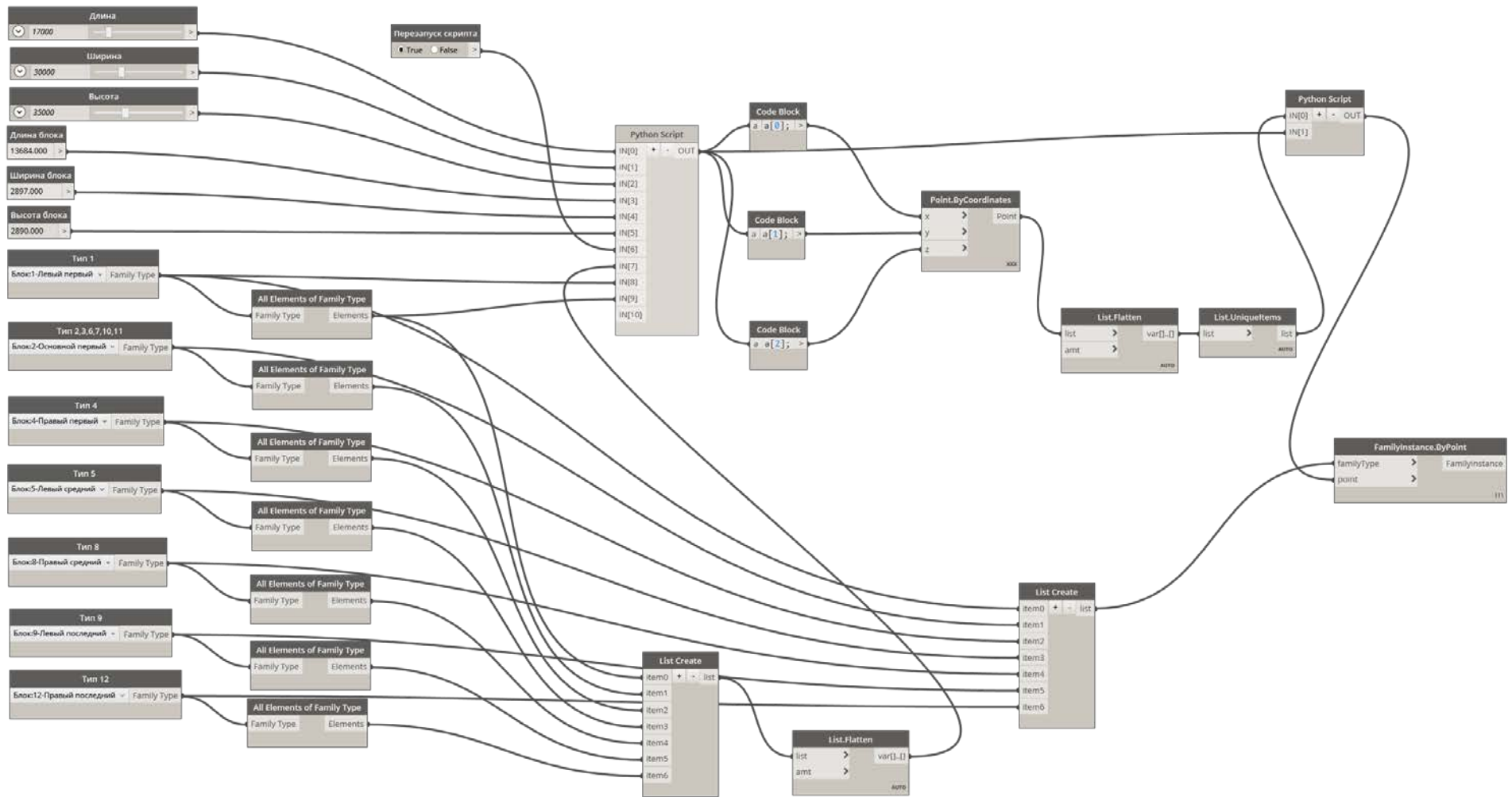


Рисунок 3.5 – Скрипт Дупато для автоматизированного построения комплексной информационной модели

В результате формирования комплексной информационной модели данные представляются в виде OLAP-куба – трехмерной матрицы по двум плоским осям (план этажа) и вертикальной оси этажей [122]. Модель OLAP позволяет организовать структурированное хранение данных информационной модели, выполнять аналитические операции по анализу и обработке данных в рамках инструментов OLAP, управление проектом в среде общих данных [162], [163], [164]. Это в итоге позволит более рационально взаимодействовать с моделью и упростить работу на следующих этапах (рис. 3.6).

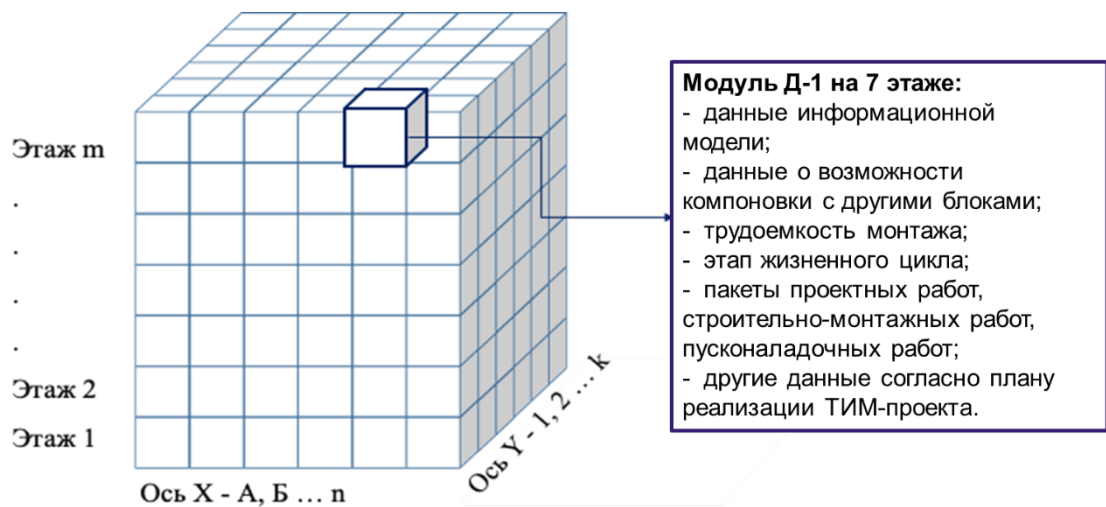


Рисунок 3.6 – Представление информационной модели модульного здания в виде OLAP-куба проекта в среде общих данных проекта [122]

Единичный модуль – ячейка, образуемая путем пересечения трех направляющих, включает в себя не только данные о ТИМ-модуле (ИМЭМГ), но и дополнительную информацию о возможности компоновки с другими блоками, трудоемкости для последующей разработки проекта организации строительства, а также о информацию об этапе жизненного цикла. Перечень данных или атрибутов может быть установлен индивидуально для каждого проекта, концепция OLAP будет сохранена [24], [122].

Каждый единичный модуль, представленный в комплексной модели относится к определенной классификации – пересечению направлений. Благодаря этому формируется связь между множеством ИМЭМГ итоговой

модели и систематизированной библиотекой типовых или специально разработанных ИМЭМГ [122].

Несмотря на трехмерное представление данных, в цифровой среде информация формируется в виде множества таблиц, которые образуются путем пересечения двух измерений. Следовательно, обращение к данным как из программного комплекса информационного моделирования, так и из специализированной программы, разработанной для взаимодействия с OLAP-представлением модели, выполняется стандартным способом программной работы с таблицами [122].

Проблемы, которые могут возникнуть в процессе разработки комплексной модели, условно можно разделить на две группы: ошибки при разработке ИМЭМГ и ошибки при комплектации ИМЭМГ в полноценную единицу информационного моделирования. В первом случае дефект обычно связан с размерными и объемно-планировочными параметрами, а также с изменением уровня детализации, во втором – с неправильным способом объединения элементов (одним из трех: сборка, группировка или семейство) [130]. В обеих ситуациях корректировки производятся стандартными инструментами информационного моделирования без дополнительных усилий [170].

В итоге формируется полноценная информационная модель объекта установленного уровня детализации. В зависимости от характеристик будущего объекта и программных возможностей модель отправляется на поиск коллизий. При возникновении коллизий выполняются корректировки соответствующими специалистами [69], [172].

После выполнения всех вышеперечисленных действий модель готова для оформления документации и дальнейших процессов согласно особенностям жизненного цикла. В случае возникновения замечаний модель корректируется дополнительно [172], [173], [174]. Информационные модели МЭМГ (ИМЭМГ) одновременно являются техническим заданием для изготовления МЭМГ, что позволяет в минимальные сроки направить

актуальный вариант на производство без дополнительных временных и трудовых затрат.

Таким образом, представленный анализ позволяет утверждать, что итоговая модель наиболее адаптирована к любым видам изменений с наименьшими трудовыми затратами на любом этапе проектирования. Преимущества алгоритма заключаются не только в его универсальности, но и в возможности повторного использования ИМЭМГ, разработанных в рамках работы над предшествующими объектами. Т.е. концепция данного алгоритма заключается в использовании технологий информационного моделирования не только в рамках одного конкретного объекта строительства, а в нескольких проектах для одной или нескольких проектных групп [94], [104].

За счет регулярного накопления ИМЭМГ и минимизации коллизий, а также за счет расширения библиотеки любыми возможными способами (специальная предварительная разработка ИМЭМГ, корректировка существующих, повышение детализации, интеграция различных библиотек и т.д.) временные и трудовые затраты с каждым новым проектом будут значительно сокращаться [175].

Хранение данных модели в цифровой среде – данных об объекте – предлагается представить в виде идентифицируемого конкретного экземпляра со связями – сущности. Сущность может быть наполнена данными различного типа (с целью представления информации о ИМЭМГ на рисунке 3.6), в том числе данными модели в формате IFC, нумерацией, дополнительной документацией, текстовым описанием и формальными характеристиками в виде атрибутов как конкретного ИМЭМГ, так и всего объекта.

Расположение модулей выполняется поэтажно. Для реализации данной концепции создается сущность «этаж», которая включает в себя соответствующие данные, относящиеся исключительно к параметрам этажа, (например, высота этажа).

Систематизация модулей на этаже осуществляется благодаря сущности «разметка» с соответствующими параметрами (атрибутами). «Разметка»

представляется в специальном формате PLY [176] для отображения в виде соответствующих полигонов с атрибутами [177]. Формат PLY позволяет хранить полигоны, а также обрабатывать выделенную под модель площадь и пространственную привязку.

Рассмотренная концепция обеспечивает возможность повторного использования представленных данных всех сущностей. Реализация обеспечивается за счет инструментов базы данных PostgreSQL [178] и сервиса REST-системы на языке программирования rust [179]. Отображение графических данных реализована посредством языка программирования Typescript с использованием библиотеки React [180]. Построение модели осуществляется на компьютере пользователя с использованием библиотеки Three.js и интерфейса web-ifc [181], [182] (для представления геометрии из файла IFC [88]) (рис. 3.7).

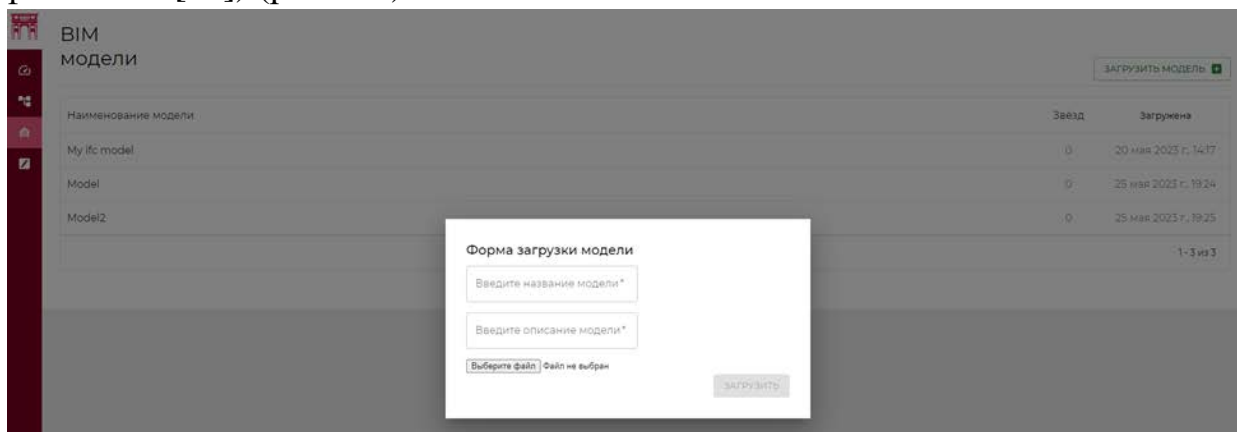


Рисунок 3.7 – Пример формы загрузки модели

3.4. Методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования на предпроектном и проектном этапах

Работа по разработке информационной модели начинается задолго до непосредственного моделирования объекта. Прежде чем приступить к моделированию даже низкого уровня детализации, необходимо выполнить несколько предварительных действий по подготовке данных для будущей

модели, по принятию проектных решений, а также по минимизации потенциальных ошибок [72], [81], [94], [98], [104], [105], [107], [127], [166].

В настоящей работе рассматривается методика разработки информационной модели с момента утверждения технического задания.

Методика разработки информационной модели на основе МЭМГ основывается на положениях, рассмотренных в предыдущих разделах данной главы, и включает в себя этапы [183], представленные на рисунке 3.8.

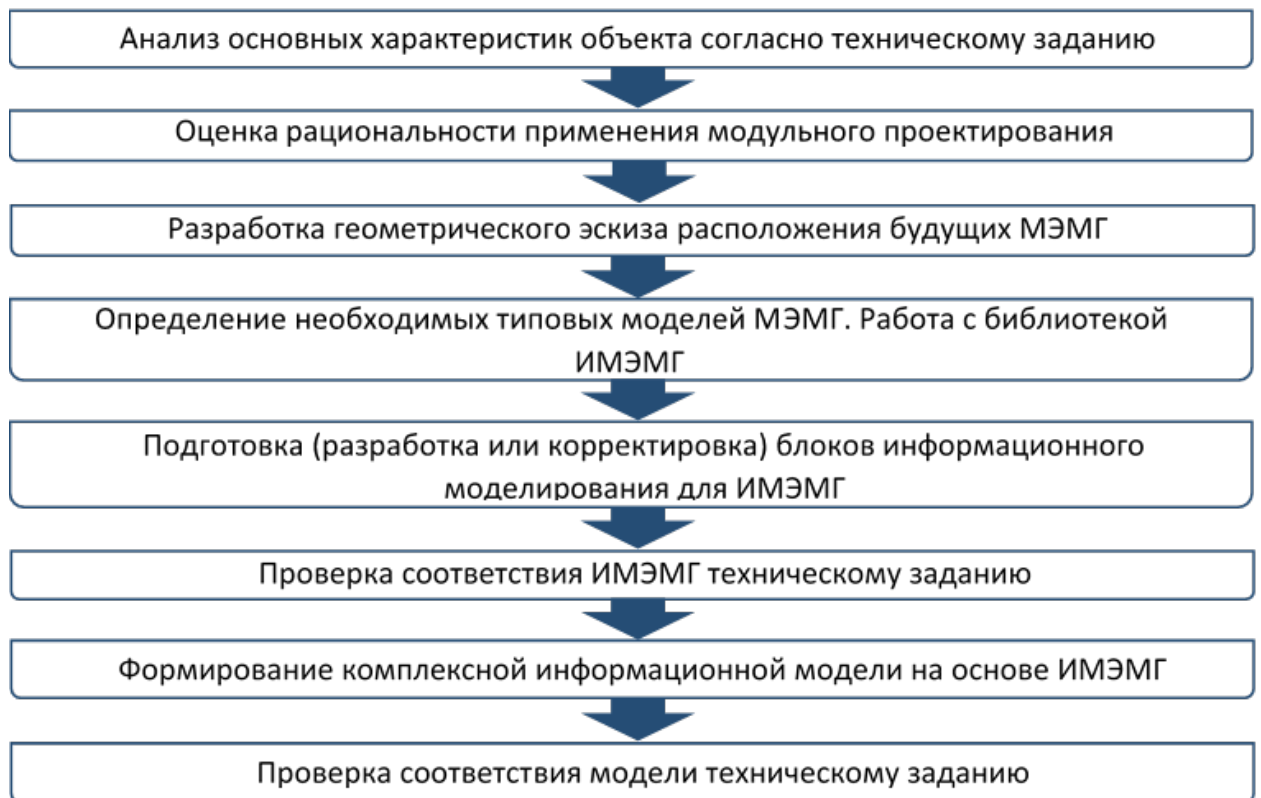


Рисунок 3.8 – Основные этапы методики проектирования на основе применения МЭМГ с использованием технологий информационного моделирования

Ниже представлено описание содержания каждого из этапов методики разработки информационной модели на основе МЭМГ в виде трех составляющих [183]:

- входные материалы или информация;
- инструменты и алгоритмы, задействованные на данном этапе;
- выходные материалы или информация.

1. Анализ основных характеристик объекта согласно техническому заданию.

Исходными данными для первого этапа является техническое задание, которое включает в себя требования к будущему объекту строительства. На данном этапе необходимо определить соответствие объема требований критериям для дальнейшей оценки рациональности, рассмотренным в разделе 3.1. То есть необходимо убедиться в полноценности имеющихся данных для дальнейшей работы.

В результате положительного анализа выполняется переход к следующему этапу, в противном случае необходимо выполнить доработку технического задания.

2. Оценка рациональности применения модульного проектирования.

На основе данных технического задания по части, относящейся к критериям раздела 3.1, выполняются соответствующие этапы алгоритма оценки рациональности, подробно рассмотренного в разделе 3.1.1. Целью данного этапа является определение возможности разработки проектной документации на основе модульного подхода для конкретного объекта строительства. Условия, влияющие на результат оценки, представлены в виде количественных оценок, которые были сформированы на основе экспертного анализа.

В результате выполнения расчета рациональности формируется показатель – индекс рациональности, по которому можно определить, к какому из трех уровней применения относится рассматриваемый объект. На основе выявленного уровня применения (таблица 3.3) принимается решение о дальнейшей работе над проектированием объекта. При высоком уровне целесообразно начать выполнять модульное проектирование, при среднем – выполнить дополнительный анализ, при низком – отказаться от модульного проектирования.

3. Разработка геометрического эскиза расположения будущих МЭМГ.

Данный этап выполняется на основе всех данных, полученных на предыдущих этапах, и является промежуточным. Цель данного этапа – разработка локальных технических заданий для моделирования всех требуемых для модели МЭМГ. Для упрощения определения количества МЭМГ и их основных характеристик целесообразно сформировать трехмерный эскиз – схему пространственного расположения ИМЭМГ с пронумерованными блоками в любой удобной для разработчика форме.

В результате выполнения данного этапа формируется перечень необходимых концептуальных МЭМГ с указанием базовых объемно-планировочных требований – локальных технических заданий. На данном этапе определяется количество дублированных блоков.

На основе сформированных на этом этапе данных начинается работа с необходимыми для комплексной модели ИМЭМГ.

4. Определение необходимых типовых моделей МЭМГ на основе классификации. Работа с библиотекой ИМЭМГ.

С учетом информации, полученной на предыдущем этапе в рамках классификации МЭМГ, рассмотренной в разделе 3.2, определяются ИМЭМГ для будущей комплексной модели.

Данная методика предусматривает непосредственное взаимодействие с библиотекой ИМЭМГ, которая аккумулирует в себе типовые модели МЭМГ различными способами, среди которых: специальная разработка, интегрирование других библиотек, повторное использование ИМЭМГ из других проектов, актуализация, детализация и так далее. Цель функционирования библиотеки – максимальное повторное использование ИМЭМГ, систематизация и хранение ИМЭМГ, буферная зона между этапами одного проекта при необходимости изменений или различными проектами. Систематизация библиотеки основана на классификации, представленной в разделе 3.2, что упрощает работу с ИМЭМГ.

Таким образом, на данном этапе определяется перечень конкретных ИМЭМГ в рамках библиотеки (в отличие от концептуальных ИМЭМГ

предыдущего шага), которые обладают более полноценными и конкретными характеристиками и свойствами. Определение параметров ИМЭМГ выполняется на основе структуры блока информационного моделирования, подробно рассмотренного для реализации в разделе 2.4.

ИМЭМГ, определенные на данном этапе, могут быть использованы в дальнейшем как в первоначальном виде, так и после дополнительных модификаций.

5. Подготовка (разработка или корректировка) блоков информационного моделирования для ИМЭМГ.

Блоки информационного моделирования – экземпляры ИМЭМГ – определенные на предыдущем этапе, подвергаются дополнительному анализу на соответствие требованиям основного технического задания и локальных технических заданий каждого ИМЭМГ.

В случае отсутствия необходимого типового ИМЭМГ необходимо выполнить комплекс работ по подготовке нового ИМЭМГ. При возможности модификации имеющегося ИМЭМГ – выполнить корректировку для адаптации ИМЭМГ в соответствии с требованиями технических заданий. В случае полного отсутствия ИМЭМГ необходима полноценная разработка блока модели МЭМГ, которая подробно рассмотрена на I этапе алгоритма, представленного в разделе 3.3.

Выходными материалами данного этапа являются блоки моделей МЭМГ в среде информационного моделирования – ИМЭМГ. Множество ИМЭМГ уже не требует дополнительных корректировок и полностью готово для дальнейшей интеграции в итоговую модель.

Действия этапов 5,6 и 7 полностью или частично основаны на алгоритме формирования комплексной информационной модели, рассмотренной в разделе 3.3.

6. Проверка соответствия ИМЭМГ техническому заданию.

С учетом этапа 3 и 4, после разработки на этапе 5 необходимо выполнить проверку ИМЭМГ перед последующим формированием комплексной

информационной модели. Цель данного этапа заключается в дополнительной проверке каждого ИМЭМГ, а также его корректировке при необходимости в рамках атрибутов типоразмера 1-го уровня и установленного уровня детализации (подробно рассмотренного в разделе 2.4).

Данные для проверки определены на этапе 3 – формирование локальных технических заданий для каждого ИМЭМГ в рамках схемы пространственного расположения ИМЭМГ. Выбранные на этапе 4 типовые ИМЭМГ и разработанные на этапе 5 ИМЭМГ сопоставляются с требованиями локальных технических заданий этапа 3. В случае возникновения отклонений – выполняется дополнительная корректировка ИМЭМГ (этап 5).

В результате выполнения данного этапа формируется множество ИМЭМГ для дальнейшего формирования комплексной информационной модели объекта.

7. Формирование комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ.

Входными материалами данного этапа являются финальные экземпляры ИМЭМГ (модели блоков МЭМГ), подготовленные на предыдущих этапах согласно требованиям технических заданий (I этап алгоритма, раздел 3.3).

Дальнейшие действия по формированию комплексной информационной модели выполняются в соответствии с этапом II алгоритма формирования модели, рассмотренного в разделе 3.3. Цель данного этапа – скомпоновать все подготовленные ИМЭМГ в определенном порядке (расположение, направление и уровень) в виде итоговой модели. Конструкция итоговой модели представляет собой комплекс расположенных определенным (ранее сформированным) образом ИМЭМГ.

Выходной материал этапа – комплексная информационная модель объекта капитального строительства на основе модульных элементов максимальной готовности.

8. Проверка соответствия модели техническому заданию.

На данном этапе выполняется первоначальная проверка разработанной на предыдущем этапе комплексной информационной модели на соответствие базовым требованиям технического задания, рассмотренным на этапах 1 и 2. В случае возникновения несоответствий необходимо выполнить корректировку модели или определенных ИМЭМГ – этапы 6 и 7.

После получения корректной информационной модели дальнейшие действия по верификации, дополнению или оформлению документации выполняются по аналогии с моделью, разработанной классическим способом. Таким образом, работа по проектированию на основе модульных элементов максимальной готовности заканчивается.

На дальнейших этапах жизненного цикла использование данной модели предусматривается в качестве задания на изготовление и в качестве данных для технического надзора и мониторинга строительства.

3.5. Выводы по главе 3

1. Была выполнена оценка рациональности использования МЭМГ для различных объектов строительства с учетом их базовых характеристик на основе технического задания. Алгоритм определения рациональности применения модульного проектирования заключается в определении зависимости между технико-экономическими показателями и целесообразностью использования МЭМГ на основе установленных критериев. Согласно шкале, полученной в результате выполнения данного алгоритма, каждый объект относится к одному из уровней применения по значению индекса. Исходя из принадлежности к уровню принимается решение о подходе реализации проектирования.

2. Для рационализации модульного проектирования был реализован алгоритм определения эффективности использования МЭМГ на базе расчета индекса эффективности. Индекс формируется на основе экспертной оценки в

рамках соответствия двух направлений: ключевых задач модульного строительства и основных функций информационного моделирования. В результате определены задачи модульного строительства, решение которых наиболее эффективно инструментами информационного моделирования.

3. На основе ключевых параметров и компонентов была разработана модель системы классификации модульных ТИМ-блоков – ИМЭМГ. Система классификации состоит из трех направлений: назначение объекта, функция ИМЭМГ внутри объекта и его объемно-пространственные характеристики. С целью дальнейшего управления данными информационной модели и для систематизации типовых ИМЭМГ, модель классификации представлена в виде OLAP-системы. Данная модель классификации необходима не только для упрощения процессов проектирования, но и для систематизации и хранения ИМЭМГ в библиотеке.

4. Для повышения эффективности работы в рамках модульного проектирования был разработан алгоритм построения комплексной информационной модели на основе применения МЭМГ. Укрупненно алгоритм включает в себя два этапа: подготовка ИМЭМГ для интеграции в будущую модель (разработка, изменение, корректировка, повышение детализации, интеграция различных библиотек) и разработка комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ. Алгоритм предусматривает возникновение проблемных ситуаций и их решение, дополнительный анализ и проверку, а также возможность адаптации ИМЭМГ и итоговой модели к изменениям в техническом задании без использования дополнительных ресурсов. В итоге формируется полноценная информационная модель объекта установленного уровня детализации.

5. С учетом разработанных алгоритмов оценки рациональности и эффективности использования МЭМГ, системы классификации и алгоритма построения комплексной модели была создана методика проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности с использованием технологий информационного моделирования, включающая

в себя принятие решений и подход к проектированию. Данная методика имеет следующие отличительные черты:

- возможность расчета необходимости и целесообразности применения методики на концептуальном этапе;
- универсальность относительно технологического назначения и геометрических характеристик;
- простота и логика системы классификации, основанной на базовых компонентах ИМЭМГ;
- адаптация алгоритма к любому программному комплексу информационного моделирования;
- упрощенное составление информационной модели за счет предварительной разработки ИМЭМГ и их дублирования;
- возможность повторного использования разработанных в предыдущих проектах ИЭМЭГ;
- постепенное сокращение времени проектирования с каждым новым проектом.

ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАКСИМАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

4.1. Практическая апробация методики автоматизированного построения информационной модели на основе типовых ТИМ-блоков модульных элементов максимальной готовности

Практическая реализация методики автоматизированного формирования информационных моделей на основе модульных элементов максимальной готовности представлена на примере разработки проектной документации объекта «Центр обработки данных центра опережающей профессиональной подготовки (ЦОПП) Московской области», расположенного по адресу: Московская область, г. Реутов, Юбилейный проспект, д.58, в рамках работы инжиниринговой компании ООО «АМДтехнологии». (Акт о внедрении представлен в Приложении Д)

Центр обработки данных – это сложное инженерное сооружение, высокотехнологичная площадка для обслуживания информационных систем и телекоммуникационного оборудования, цель работы которого – обработка, хранение и передача стратегически важной для конкретной компании информации и управление ее информационной системой. В инфраструктуру ЦОДа входит несколько инженерных систем высокого уровня надежности: система кондиционирования, бесперебойного питания, пожаротушения, слаботочные системы и контроль доступа, а также другие системы в соответствии со спецификой обслуживаемого объекта [120], [153], [184], [185].

В качестве примера реализации представлен объект Центр обработки данных, техническое задание которого включало в себя следующую информацию, необходимую для проектирования (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Часть технического задания

№	Наименование	Значения
1	Площадь объекта	480 м ²
2	Количество этажей	Не более 3
3	Технологические решения и оборудование	Общий объем IT-стоек - 200-250 шт. Использование современных стоек для ЦОД – с потреблением мощности на стойках до 10 кВт
4	Размеры стоек	600x1000 мм
5	Помещения	помещение для оборудования пожаротушения; помещение подготовки оборудования; помещение для хранения ЗИП; диспетчерская; серверная; энергоцентр; хладоцентр; гардеробная.
6	Уровень надежности	Tier II
7	Назначение объекта	Специализированное

Оценка рациональности

На основании технического задания выполняется расчет индекса рациональности согласно данным таблицы 3.2 и формулы (5) (таблица 4.2):

1. Данные для расчета индекса рациональности:

Таблица 4.2 – Значения критериев рациональности

Вес критерия (CW)	Название критерия		Значение	Обозначение	Оценка
0,18	Назначение GO	Специализированные	Спец	S.x	5,42
0,28	Количество этажей (F)	3-5 этажей	3	F2	4,25
0,20	Общая площадь (OS)	180-250 м ³	480	OS4	4,17
0,08	Климатический пояс (KP)	I	MO	KP1	1,25
0,25	Логистика (L)	В пределах города	MO	L1	2,75

2. Расчет индекса рациональности (IR):

$$IR_{\text{цод}}=0,18*5,42+0,28*4,25+0,20*4,17+0,08*1,25+0,25*2,75= \mathbf{3,787} \quad (11)$$

3. Интерпретация результатов. Согласно шкале значений таблицы 3.3, данный объект относится к высокому уровню применения подхода модульного строительства. $IR_{\text{цод}} = 3,787$, относится к диапазону 3,625 - 4,766.

Повышение эффективности

Согласно данным, полученным при анализе результатов матрицы индексов, группой лиц по управлению проектированием было принято решение выполнять следующие работы посредством информационного моделирования:

- W3 Расчет количества МЭМГ;
- W4 Формирование требований МЭМГ;
- W5 Разработка задания на моделирование МЭМГ;
- W7 Разработка или доработка ИМЭМГ;
- W8 Моделирование ИМЭМГ в среде информационного моделирования;
- W9 Формирование комплексной информационной модели;
- W15 Проверка МЭМГ;
- W20 Планирование подъемных работ и управление ими;
- W21 Планирование стыковых работ и управление ими.

Также выбраны функции информационного моделирования:

- T1 Моделирование ИМЭМГ;
- T2 Моделирование стыков и узлов;
- T3 Формирование библиотеки ИМЭМГ;
- T4 Моделирование СГП;
- T5 Формирование комплексной информационной модели;
- T6 Формирование чертежей и документации;
- T8 Разработка карты транспортировки и подъема внутри площадки;
- T10 Визуализация.

Таким образом, сформулированы группы задач для ТИМ-реализации в рамках данного проекта. Для разработки информационной модели был выбран программный комплекс Autodesk Revit, так как компания ООО «АМДтехнологии» использует данный продукт для разработки своих проектов на протяжении 8 лет. Специалисты проектного отдела имеют высокий уровень квалификации по работе в Autodesk Revit.

В качестве библиотеки ИМЭМГ будет использована модель одномодульного ЦОДа, (Мобильный ЦОД Liquid Cube) разработанного компанией-партнером по производству модульных ЦОДов. Данная модель может быть использована как в качестве самостоятельного контейнерного ЦОДа, так и в составе более мощного ЦОДа. Модель имеет гибкие характеристики и может быть адаптирована для любых мощностей и требований.

Размеры ЦОДа Liquid Cube составляют 2,9 X 13,7 X 2,9 м. Конструктивные вертикальные ограничения – не более 3-х. Наружное холодильное оборудование может быть расположено как на крыше, так и рядом, на фундаменте.

ЦОД Liquid Cube – это основной продукт компании, представляет собой универсальный вычислительно-коммуникационный комплекс с технологией непосредственного жидкостного охлаждения. В отличие от базовой и контейнерной версии, Liquid Cube в специальном исполнении становится мобильным, его можно свободно перемещать по грунтовым дорогам, перевозить авиацией или железнодорожным транспортом [184], [186], [187], [188].

ЦОД Liquid Cube совмещает все основные компоненты стандартного ЦОДа, при этом не требуя инфраструктуры: в зависимости от проекта, каждый экземпляр будет разрабатываться индивидуально под место установки и размещения. Вычислительные системы и сети на основе Liquid Cube, по данным производителя, потребляют на 30% меньше электричества и

позволяют сократить эксплуатационные расходы на 50% по сравнению с традиционными ЦОДами [188] (рис. 4.1).

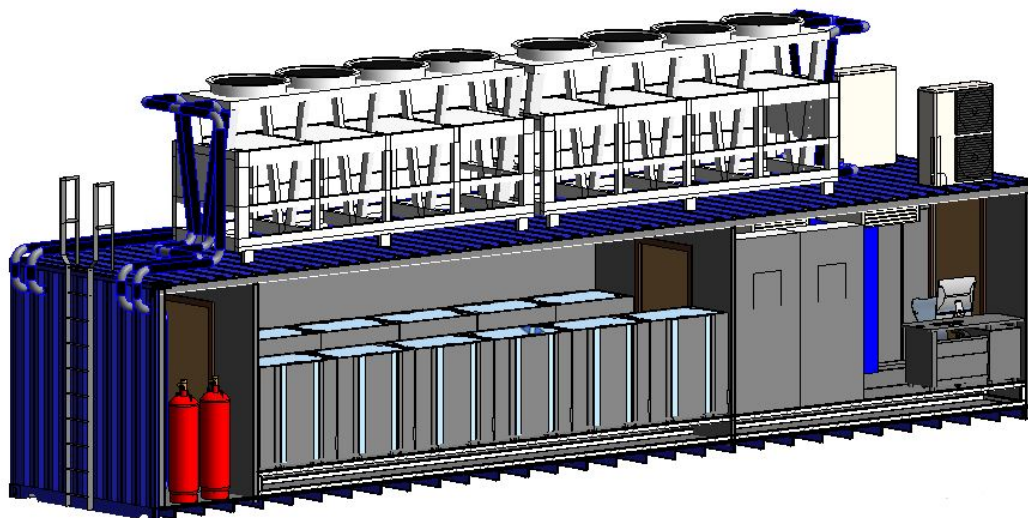


Рисунок 4.1 – Мобильный ЦОД Liquid Cube (разрез)

Формирование структуры ТИМ-блоков для разработки типовых моделей МЭМГ

Структура ТИМ-блока ИМЭМГ в данном случае ограничена производственными возможностями производителя и характеристиками ЦОД Liquid Cube. Однако уровень детализации данной модели высокий, согласно таблице 2.4 и таблице 2.6, она относится к IV уровню, т.е. включает в себя все необходимые системы и компоненты. Данный блок не имеет высокого уровня дизайна, однако в техническом задании никаких требований на этот счет нет.

Согласно данным таблицы 2.5 единичная модель ЦОДа содержит в себе все необходимые компоненты, которые могут быть адаптированы под любые требования к будущим ИМЭМГ. Все компоненты рассматриваемого ИМЭМГ выполнены на основе базовых инструментов и примитивов Autodesk Revit (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Состав ТИМ-блока типовой ИМЭМГ

Группа	Компонент	Функционал и примитивы
Архитектурная часть	Металло-каркасный модуль в форме параллелепипеда Перегородки Двери Лестницы (дополнительно)	Семейство Внутренние стены и перегородки Двери Лестницы
Конструктивные решения	Металло-каркасный модуль в форме параллелепипеда Фальшпол	Семейство Конструктивные инструменты
Инженерно-технологическое обеспечение	Система электроснабжения Система пожаротушения Система холодоснабжения	Инструменты инженерных систем Надстройки и база от производителя
Мебель и оборудование	IT-стойка ИБП Огнетушитель ПК Холодильное оборудование Рабочий стол и стул	Импорт объектов База от производителя Инструменты семейств
Крепеж и состыковка элементов	Скобы для крепления (разработаны производителем) Дополнительные отверстия для лестничных проемов	Инструменты семейств или объектов
Группировка и объединение	Металло-каркасный модуль в форме параллелепипеда Группа стоек	Группы модели Сборка модели Инструменты семейств
Общегеометрические задачи	Корректировка планировки металло-каркасного модуля	Инструменты редактирования Визуализация Инструменты оформления документации Инструменты импорта и экспорта

Несмотря на полноценность рассматриваемого ИМЭМГ после формирования локальных ТЗ к требуемым ТИМ-блокам, необходимо выполнить формирование дополнительных ИМЭМГ на основе объемно-планировочных изменений типового ИМЭМГ. Все модификации будут выполнены стандартными инструментами Autodesk Revit.

Определение необходимого количества МЭМГ.

С учетом размерных характеристик типового ИМЭМГ в рамках проекта (2,9 X 13,7 X 2,9 м) и требований технического задания ($k_{эт} = 3$ этажа, $S_{общ}$

=360 м²), целесообразно выстроить три уровня с ИМЭМГ, так что образуется трехэтажное здание.

Таким образом, имеем следующие данные для расчета:

1. Площадь одного типового ИМЭМГ $S_{\text{ИМЭМГ}}$:

$$S_{\text{ИМЭМГ}} = 2,9 * 13,7 = 39,73 \text{ м}^2 \quad (12)$$

2. Площадь застройки $S_{\text{застр}}$:

$$S_{\text{застр}} = S_{\text{общ}} / k_{\text{эт}}, \quad (13)$$

$$S_{\text{застр}} = 480 / 3 = 160 \text{ м}^2 \quad (14)$$

3. Количество ИМЭМГ $N_{\text{ИМЭМГ}}$:

$$N_{\text{ИМЭМГ}} = (S_{\text{застр}} / S_{\text{ИМЭМГ}}) * k_{\text{эт}}, \quad (15)$$

$$N_{\text{ИМЭМГ}} = (160 / 39,73) * 3 = 12 \quad (16)$$

В результате выявляем необходимость разработки 12 МЭМГ. Концептуально геометрию будущих ИМЭМГ и комплексной модели можно представить, как показано на рисунке 4.2:

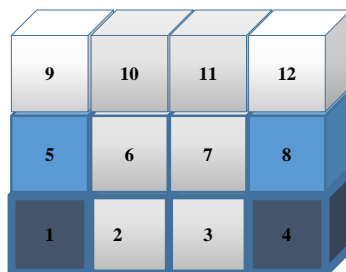


Рисунок 4.2 – Схема пространственного расположения ИМЭМГ [120]

Систематизация ИМЭМГ в рамках классификации

Согласно схеме пространственного расположения ИМЭМГ на рисунке 4.2 можно сделать следующие выводы для классификации требуемых МЭМГ [122]:

- 2-3, 6-7, 10-11 ИМЭМГ попарно полностью одинаковы;
- 1, 5, 9 ИМЭМГ и 4,8,12 ИМЭМГ зеркально отражены и имеют лестничные проемы;
- 1 и 4 ИМЭМГ имеют дополнительные проемы для входа;

– 5-8 ИМЭМГ имеют два лестничных проема, 1-4, 9-12 ИМЭМГ – один проем сверху и снизу, соответственно.

На основе вышеописанных данных и классификации ИМЭМГ (таблица 3.7. и рис. 3.3) можно определить базовые требования к требуемым 12 ИМЭМГ.

Все ИМЭМГ относятся к специализированной группе основных модулей одинакового, рассмотренного ранее размера.

Формирование комплексной информационной модели.

С учетом требований технического задания, систематизации и классификации МЭМГ, архитектурных и конструктивных особенностей проектируемого объекта, начинается разработка 12 ИМЭМГ на основе модификаций исходного типового контейнерного ЦОДа. Т.е. первый этап, согласно алгоритму формирования модели (рис. 3.4), выполняется для 12 наименований [122].

Все ИМЭМГ объединяются в один информационный элемент посредством инструментов группировки, ИТ-стойки и холодильное оборудование – посредством сборки, контейнер представлен в виде семейства. Трубы и коммуникации в группы включаются после их расположения [122] (рис. 4.3 – 4.5).

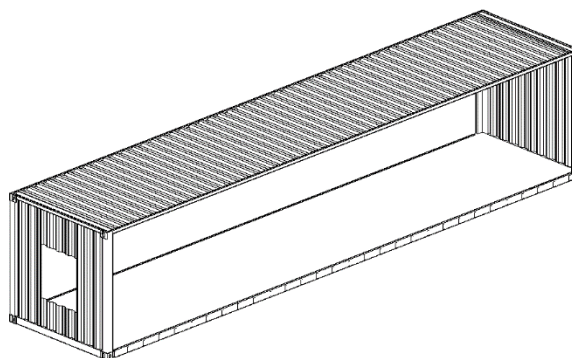


Рисунок 4.3 – Семейство контейнера

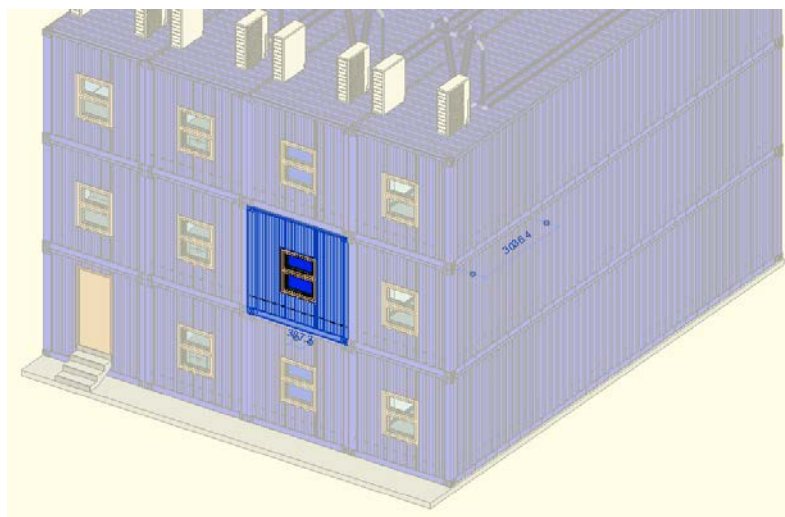


Рисунок 4.4 – Расположение единичного ИМЭМГ в модели

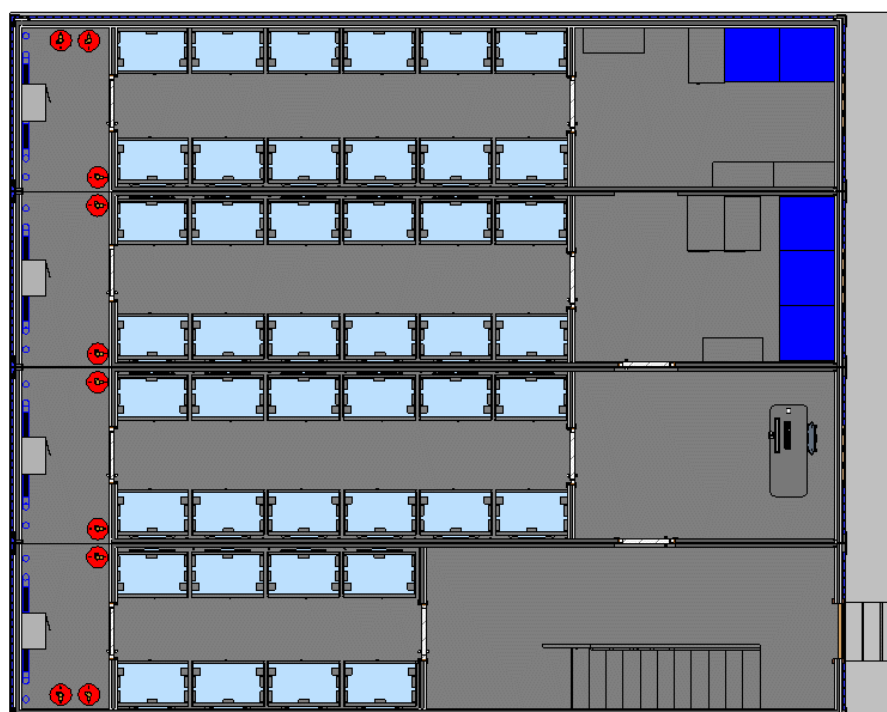


Рисунок 4.5 – План ИМЭМГ 1-го этажа

После подготовки всех моделей МЭМГ (ИМЭМГ) второй этап – компиляция всех 12 ИМЭМГ в одну модель согласно схеме пространственного расположения ИМЭМГ по рисунку 4.2.

Формирование комплексной информационной модели было выполнено с помощью скрипта Dynamo (рис. 3.5) на основе установленных атрибутов типоразмеров ИМЭМГ. В меню Dynamo (рис. 4.6) были установлены данные о размерах модели и размерах ИМЭМГ, в результате автоматически была

построена модель ЦОДа, на основе которой в дальнейшем была сформирована проектная документация (рис. 4.7 – 4.8).

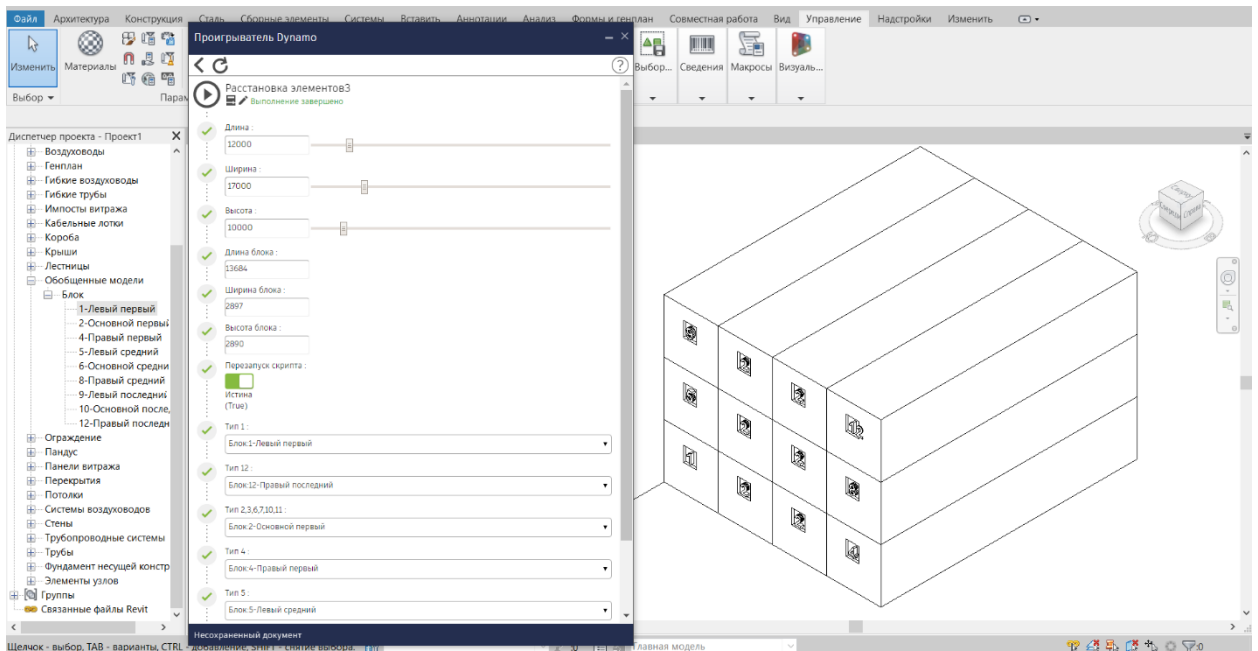


Рисунок 4.6 – Автоматизированное построение информационной модели с помощью скрипта Dynamo

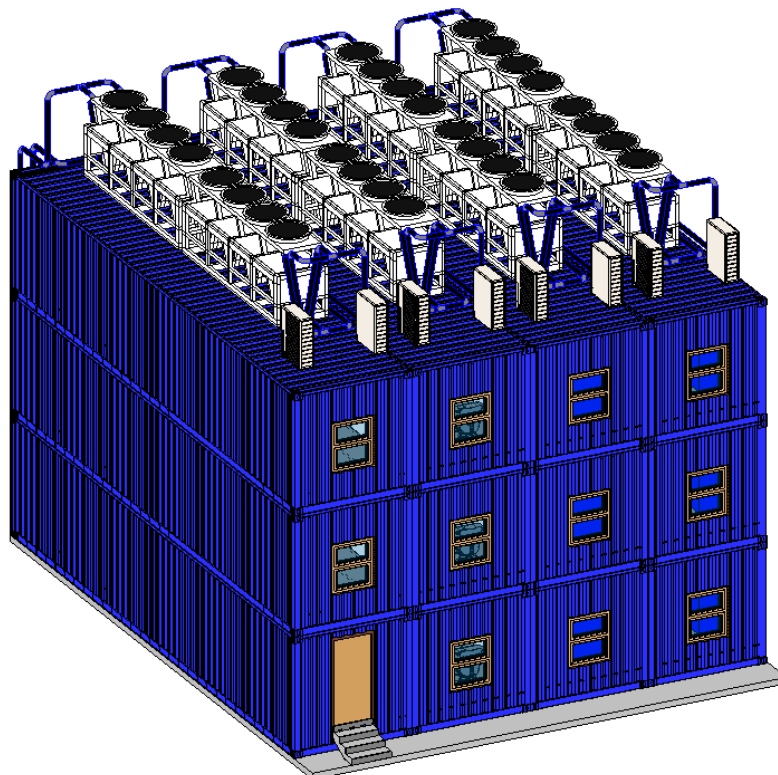


Рисунок 4.7 – Комплексная информационная модель ЦОДа

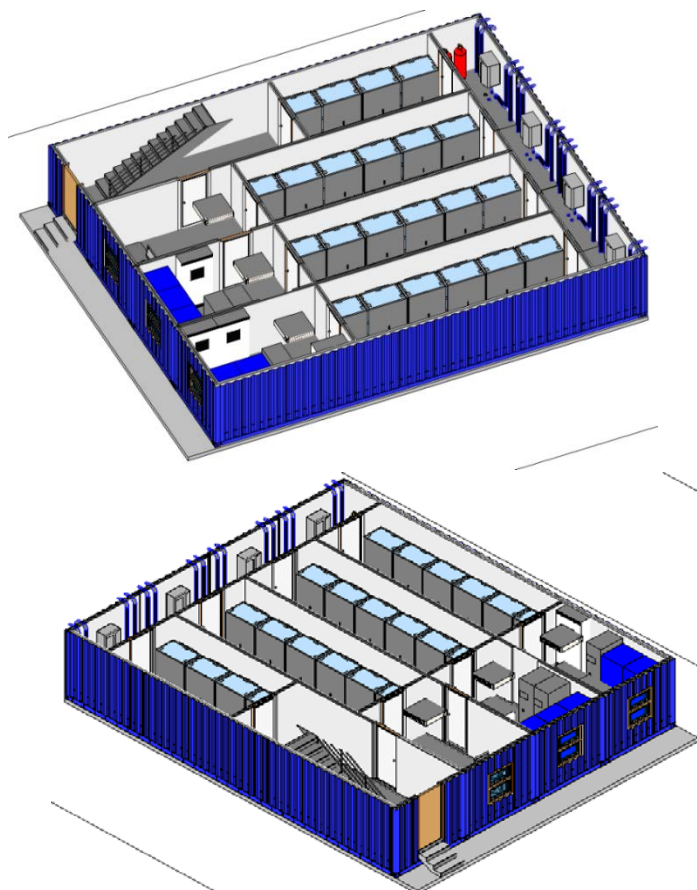


Рисунок 4.8 – Разрез комплексной информационной модели ЦОДа

Таким образом, получена итоговая комплексная информационная модель центра обработки данных стадии проект. Дальнейшие действия над моделью выполняются исходя из требований технического задания и проектных решений, принятых управленческой группой. В данном случае модель передается для поиска коллизий в программный комплекс Autodesk Navisworks [172], [189] с дальнейшей корректировкой и оформлением документации [120].

После всех возникающих корректировок и изменений, после дополнительной верификации и утверждения модели, весь перечень ИМЭМГ будет использован как модель технического задания для производства компанией-производителем.

Одновременно разработанные 12 ИМЭМГ теперь составляют библиотеку ИМЭМГ, которая может быть использована для следующих проектов [120]. На данный момент выполняется предпроектная работа двух

Центров обработки данных аналогичных характеристик. При успешной реализации рассматриваемого объекта будет повторно применен его проект.

Рассмотренная методика автоматизированного проектирования с использованием модульных элементов максимальной готовности в совокупности с представленным инструментом автоматизированного формирования информационной модели была применена в компаниях ООО «ИВЛИОН» и ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ». (Акты о внедрении представлены в Приложении Е и Ж)

4.2. Оценка эффективности результатов проектирования центров обработки данных на основе МЭМГ

4.2.1. Эффективность проектирования

Оценка эффективности результатов проектирования центров обработки данных на основе МЭМГ – довольно сложный для анализа процесс, так как критерии эффективности в явном виде не определены в связи с особенностями проектирования объекта и различным уровнем начальных ресурсов, а также ограничениями Генпроектировщика и Заказчика.

С учетом существующих проблемных ситуаций и ограничений проектирования [190], [191], [192], а также особенностей центров обработки данных [153], [187], [185] и модульного строительства [72], [107], [102], [98] определены следующие критерии для оценки эффективности:

- продолжительность проектирования;
- количество задействованных специалистов;
- количество обнаруженных коллизий;
- количество замечаний заказчика/эксперта;
- общепроектные вопросы/проблемные ситуации;
- продолжительность исправления замечаний;

Анализ эффективности основывается на сравнении основных показателей критериев эффективности модульного проекта и традиционного проектирования. Однако выполнять один проект двумя различными подходами нерационально, следовательно, целесообразно рассмотреть другой разработанный объект ЦОДа, но с аналогичными характеристиками и входными данными. В качестве примера был выбран объект: «Строительство Центра обработки данных архивного хранилища», расположенный по адресу: Нижегородская область, г. Городец. Данный объект имеет технико-экономические показатели, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Техничко-экономические показатели альтернативного объекта

№	Наименование	Значения
1	Площадь объекта	510 м ²
2	Количество этажей	3
3	Технологические решения и оборудование	Общий объем IT-стоек - 250 шт. Использование современных стоек для ЦОД – с потреблением мощности на стойках до 10 кВт
4	Размеры стоек	600x1000 мм
5	Помещения	помещение пожаротушения; помещение подготовки оборудования; помещение для хранения ЗИП; диспетчерская; серверная; энергоцентр; хладоцентр; гардеробная.
6	Уровень надежности	Tier II
7	Назначение объекта	Специализированное

В результате анализа вышеуказанных показателей получены следующие данные по сравнению двух объектов, разработка проектов которых выполнена двумя различными подходами (таблица 4.5):

Таблица 4.5 – Сравнительный анализ эффективности проектирования ЦОДов

№	Критерий	Модульный ЦОД	Традиционный ЦОД	%
1	Продолжительность проектирования (дн)	82	99	17%
2	Количество задействованных специалистов	16	20	20%
3	Количество обнаруженных коллизий	51	158	67%

№	Критерий	Модульный ЦОД	Традиционный ЦОД	%
4	Количество замечаний Заказчика/Эксперта	30	57	47%
5	Общепроектные вопросы/проблемные ситуации	4	6	33%
6	Продолжительность исправления замечаний (дн)	3	8	62%

В результате сравнительного анализа по оценке эффективности результатов проектирования на основе МЭМГ можно увидеть преимущества модульного проектирования по количественным показателям проектных процессов. Суммарная эффективность достигается не только за счет точности и улучшения исчисляемых показателей, но и благодаря когнитивному упрощению проектных процессов, которые в перспективе уменьшают работу заинтересованных специалистов, что в итоге обеспечивает их более качественную работу [120].

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что проектирование на основе модульных элементов максимальной готовности является эффективным по сравнению с традиционными подходами [120]. Однако, для достижения максимальной эффективности необходим предварительный расчет, на основе которого применяются МЭМГ и определяются ключевые задачи для информационного моделирования. Таким образом, проектирование на основе модульных элементов максимальной готовности повышает общую эффективность в рамках реализации проекта при условии соблюдения методики автоматизированного формирования информационных моделей на основе модульных элементов максимальной готовности, представленной в Главе 3.

4.2.2. Оценка экономической эффективности

Сокращение продолжительности проектирования и количества задействованных специалистов влияет на уменьшение суммарной трудоемкости, что в итоге отражается на стоимости трудовых затрат. При средней заработной плате специалистов проектной команды разной квалификации, с учетом повышения оклада для ТИМ-компетентных специалистов на 20%, сумма оплаты труда за период проектирования для двух видов ЦОДов – двух рассматриваемых подходов проектирования – формируется соответственно данным, представленным в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Расчет экономического эффекта

Должность	Зарботная плата, руб./мес	Традиционный ЦОД		Модульный ЦОД	
		Кол-во	Стоимость за период, руб.	Кол-во	Стоимость за период, руб.
ГИП	200 000,00 Р	1	900 000,00 Р	1	883 636,36 Р
Главный Специалист	150 000,00 Р	6	4 050 000,00 Р	4	2 650 909,09 Р
Ведущий специалист	120 000,00 Р	9	4 860 000,00 Р	6	3 181 090,91 Р
Младший специалист	90 000,00 Р	4	1 620 000,00 Р	2	795 272,73 Р
ВМ-координатор	170 000,00 Р	0	0,00 Р	1	625 909,09 Р
ВМ-менеджер	120 000,00 Р	0	0,00 Р	2	883 636,36 Р
ИТОГО:		11 430 000,00 Р		9 020 454,55 Р	
Экономический эффект:		21,1%			

Соответственно, можно сделать вывод о том, что проектирование на основе МЭМГ является эффективным с точки зрения проектных показателей, а также сокращает финансовые расходы на заработную плату проектной команды в период разработки проекта. Общая эффективность достигается не только за счет точности и улучшения исчисляемых показателей, но и благодаря когнитивному упрощению проектных процессов, которые в перспективе уменьшают количество работы заинтересованных специалистов, что в итоге делает ее более качественной [120].

Таким образом, проектирование на основе модульных элементов максимальной готовности повышает общую эффективность в рамках реализации проекта при условии соблюдения методики автоматизированного

формирования информационных моделей на основе модульных элементов максимальной готовности.

4.3. Перспективные направления дальнейших исследований

На основании полученных результатов были определены следующие направления дальнейших исследований:

1. Создание методических основ по разработке нормативных документов, рекомендаций и стандартов, применение которых позволит разрабатывать ИМЭМГ быстрее и с минимальными корректировками, предотвращая вероятные коллизии и ошибки.

2. Разработка расширенной системы классификации, которая позволит более полно учитывать объемно-планировочные, инженерно-технологические и детализированные характеристики ИМЭМГ, что позволит повысить качество ТИМ-модулей и сократить время и объем проектирования за счет минимизации корректировок.

3. Разработка алгоритмов формирования комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ, ориентированных на различные группы объектов строительства, в том числе по назначению, строительному объему и месторасположению.

4. Разработка базы данных для рационализации систематизации и хранения информационных моделей МЭМГ (ИМЭМГ) с целью ускоренного обращения к ним и пополнения библиотеки ИМЭМГ.

5. Автоматизация построения схемы пространственного расположения ИМЭМГ с формированием технического задания на разработку информационных моделей МЭМГ.

6. Анализ функционала других программных комплексов информационного моделирования, в том числе отечественных, на предмет возможности реализации и адаптации проектирования на основе методики

автоматизированного формирования информационных моделей на основе МЭМГ.

7. Разработка дополнительного функционала для существующих средств информационного моделирования, ориентированных исключительно на проектирование на основе ИМЭМГ. В том числе модернизация существующих инструментов, которые требуют корректировки для наиболее эффективного решения ключевых задач модульного проектирования с точки зрения их реализации на основе ориентированных ТИМ-функций.

8. Разработка методик повторного использования МЭМГ в других проектах, замены в процессе эксплуатации, мобильности объекта на основе демонтажа с последующим повторным возведением МЭМГ.

9. Разработка новых материалов и конструкций для использования в составе компонентов МЭМГ.

10. Внедрение данной методики в проектирование не только объектов капитального строительства, но и других объектов.

4.4. Выводы по главе 4

1. Описана практическая реализация методики автоматизированного формирования информационных моделей на основе модульных элементов максимальной готовности на примере проектирования объекта Центра обработки данных. Апробация выполнена в полном объеме с учетом оценки рациональности и эффективности использования МЭМГ, в рамках установленных параметров структуры ТИМ-блока для представления МЭМГ в среде информационного моделирования и классификации ИМЭМГ. В результате представлена полноценная информационная модель модульного центра обработки данных, которая в дальнейшем была использована в качестве задания на изготовление МЭМГ.

2. Внедрение результатов диссертационного исследования происходило в 2022 году в компании ООО «АМДтехнологии». По результатам анализа проектирования на основе МЭМГ было установлено повышение эффективности работы в среднем на 20% (таблица 4.5) по предложенным критериям эффективности относительно аналогичного объекта, проектирование которого выполнялось традиционным способом. По мнению представителей организации, проектирование, в том числе информационное моделирование, выполненное на основе алгоритма, методики и их реализации, разработанных автором, позволило повысить качество создаваемой проектной документации и тем самым обеспечить получение положительных заключений по результатам ее экспертизы, а также ускорить процесс строительства. Кроме того, регулярное использование данного подхода обеспечивает пополнение библиотеки, благодаря которому процесс проектирования ускоряется с каждым новым проектом.

3. Результаты проведенного исследования были представлены и одобрены на шести научно-практических конференциях.

4. Были определены направления дальнейших исследований, которые включают в себя создание методических основ по разработке нормативных документов, разработку расширенной системы классификации, разработку алгоритмов формирования комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ, разработку базы данных для систематизации информационных моделей МЭМГ (ИМЭМГ), анализ функционала других программных комплексов информационного моделирования и разработку дополнительного функционала для существующих, легитимацию понятий и основ, связанных положениями проектирования на основе МЭМГ, разработку методик повторного использования МЭМГ в других проектах, а также разработку новых материалов и конструкций для использования в составе компонентов МЭМГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором диссертации в ходе исследования, в соответствии с целями и задачами, получены следующие результаты:

1. Выполнен анализ современного состояния архитектурно-строительного проектирования, научных и практических работ в области проектирования и строительства модульных зданий, который показал необходимость поиска новых способов решения задач возведения модульных зданий на всех этапах жизненного цикла объектов. Доказана перспективность применения информационного моделирования в архитектурно-строительном проектировании модульных объектов. Проведен анализ отечественного и международного опыта использования модульного проектирования и модульного строительства, а также изучены функциональные возможности технологий информационного моделирования.

2. Установлено понятие модульного элемента максимальной готовности (МЭМГ) как фундаментальной единицы проектирования и строительства модульных зданий. С учетом особенностей реализации МЭМГ определено понятие информационной модели МЭМГ (ИМЭМГ) как полноценного элемента единицы информационного моделирования. Определены основные характеристики МЭМГ и ИМЭМГ, их свойства, особенности функционирования и взаимодействия.

Определены параметры ТИМ-блоков типовых модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ), которые составляют практическую основу для разработки МЭМГ. Сформированы необходимые компоненты ИМЭМГ согласно установленным уровням детализации, а также определены соответствующие инструменты реализации в рамках программного комплекса информационного моделирования.

3. Установлена зависимость рациональности использования модульного проектирования от его технико-экономических показателей. В результате представлен алгоритм определения рациональности применения

модульного проектирования объекта на начальных этапах работы над проектом.

Предложена модель классификации модульных ТИМ-блоков – ИМЭМГ, которая включает в себя объемно-планировочные характеристики, а также атрибуты функциональности МЭМГ с учетом технологических особенностей и назначения итогового объекта. Представленная классификация обеспечивает систематизацию хранения ИМЭМГ.

4. Определена эффективность ТИМ-реализации ключевых задач модульного строительства. Разработан алгоритм оценки эффективности использования МЭМГ, который включает в себя определение индекса эффективности применения информационного моделирования для ключевых задач модульного строительства. В результате определены задачи модульного проектирования для ТИМ-реализации.

5. Разработан алгоритм автоматизированного построения комплексной информационной модели на основе применения ИМЭМГ, который состоит из двух этапов: подготовка ИМЭМГ для интеграции в будущую модель, и разработка комплексной информационной модели на основе ИМЭМГ. Алгоритм предусматривает дополнительный анализ и проверку модели, а также возможность адаптации ИМЭМГ и итоговой модели к изменениям в техническом задании без дополнительных ресурсов. Разработана программная реализация ТИМ для автоматического построения модели на основе ранее разработанных ИМЭМГ. В результате реализации алгоритма в соответствии с требованиями к будущему объекту формируется полноценная информационная модель.

6. Разработана методика проектирования на основе применения МЭМГ с использованием технологий информационного моделирования, включающая в себя этапы принятия проектных решений и этапы разработки информационной модели.

7. Выполнено внедрение результатов исследования в деятельность ООО «АМДтехнологии». По результатам было установлено повышение

эффективности работы относительно аналогичного объекта, проектирование которого выполнялось традиционным способом.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

– разработка предложений по совершенствованию нормативных документов и стандартов, применение которых позволит эффективно использовать ИМЭМГ;

– разработка расширенной системы классификации, которая позволит более полно учитывать объемно-планировочные, инженерно-технологические и детализированные характеристики ИМЭМГ и разработка базы данных для рационализации систематизации и хранения информационных моделей МЭМГ (ИМЭМГ);

– разработка базы данных для систематизации и хранения информационных моделей МЭМГ (ИМЭМГ) с целью ускоренного обращения к ним и пополнения библиотеки ИМЭМГ;

– автоматизация построения схемы пространственного расположения ИМЭМГ с формированием технического задания на разработку информационных моделей МЭМГ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:**

1. Рыбакова А.О., Каган П.Б. Повышение эффективности проектирования и строительства // Научно-технический журнал «Наука и бизнес: пути развития». – 2019. – № 3(93). – С. 46–48.

2. Каган П.Б., Рыбакова А.О., Титенко В.И. Работа службы технического заказчика при использовании модульных элементов на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства // Научно-технический журнал «Строительное производство» – 2022. – №. 3(43). – С. 34–40. DOI: 10.54950/26585340_2022_3_34

3. Рыбакова А. О. Формирование данных информационной модели модульного здания в формате OLAP // Строительство и архитектура. 2023. №. 1. С. 21-21. DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2022-11-1-21-21>

4. Рыбакова А.О. Методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности // Научно-технический журнал «Строительное производство» – 2023. – №. 2(46). – С. 99–102. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_99

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus:

1. Angelina Rybakova and Pavel Kagan Opportunities to improve the efficiency of design and construction // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. № 01008. DOI: 10.1051/e3sconf /20199701008

2. Angelina Rybakova and Pavel Kagan Application of Building Information Modeling in Data Center design // FORM-2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. № 022006. DOI:10.1088/1757-899X/869/2/022006

3. Angelina Rybakova A study of aspects of structural design based on application of complete modular units // E3S Web of Conferences 263(3):04038 DOI: 10.1051/e3sconf/202126304038

4. Angelina Rybakova Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 231. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7_22

Иные публикации:

1. Рыбакова А.О. Перспективы развития автоматизированного проектирования центров обработки данных на основе применения технологий информационного моделирования зданий // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2020. - №1. - 8 с. <https://resources.today/PDF/08INOR120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус.,англ. DOI: 10.15862/08INOR120/

2. Рыбакова А.О. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2021 Т. 11. Вып. 2. Ст. 5. URL: <http://nsojournal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.2.5

3. Рыбакова А.О. Оценка эффективности проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2022 Т. 12 Вып. 3 Ст. 9. URL: <http://nsojournal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.9

4. Рыбакова А.О., Алешин А.А. Особенности обучения и внедрения технологий информационного моделирования в высшем образовании // Материалы V Международной научно-практической конференции "BIM-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ" (20–22 апреля 2022 года). Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2022. С.205-210

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АР – архитектурные решения

БКУ – блочно-комплектное устройство

ГрК РФ – Градостроительный Кодекс Российской Федерации

ЖЗ – жизненный цикл

ИМ – информационная модель

ИМЭМГ – Информационная модель модульного элемента

максимальной готовности

ИОС – инженерное оборудование и сети

ИРД – исходно-разрешительная документация

КР – конструктивные решения

МЭМГ – Модульный элемент максимальной готовности

НТД – нормативно-техническая документация

ПНР – пусконаладочные работы

ПП РФ – Постановление Правительства Российской Федерации

САПР – система автоматизированного проектирования

СМР – строительно-монтажные работы

СП – свод правил

ТЗ – техническое задание

ТИМ – технологии информационного моделирования

ТЭП – технико-экономические показатели

ЦИМ – цифровая информационная модель

ЦОД – центр обработки данных

ВIM – building information modeling, информационное моделирование

зданий

IFC – industry Foundation Classes, отраслевые базовые классы)

CAD – computer aided design system, системы автоматизированного проектирования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 02.08.2019) [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс»: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 01.12.2021).
2. Рыбакова А.О., Каган П.Б. Повышение эффективности проектирования и строительства // Научно-технический журнал «Наука и бизнес: пути развития». 2019. № 3(93). С. 46-48.
3. Rybakova A., Kagan P. Opportunities to improve the efficiency of design and construction // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 97. No. 01008.
4. Мищенко В.Я., Абраменко А.А. Внедрение технологии индустриального строительства в развитие отрасли народного хозяйства // Строительство и недвижимость. 2020. № 1(5). С. 65-71.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 N 87 (ред. от 06.07.2017) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс»: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/ (дата обращения: 01.12.2021).
6. Киевский Л.В., Джалилов Ф.Ф. Разработка организационных решений по созданию объектов строительства и их экспертиза: проблема и подходы // Промышленное и гражданское строительство, № 4, 1995. С. 24.
7. Состав разделов организационно-технологической документации и требования к их содержанию: учебное пособие. Москва: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. 64 с.
8. Михин М.П. Задача оптимального совмещения проектно-строительных работ // Научно-технический журнал «Системы управления и информационные технологии», Т. 2.2, № 48, 2012. С. 268-272.

9. Морозенко А.А. Формирование организационной структуры инвестиционно-строительного проекта с высокими свойствами резистивности 2019. № 2(71). С. 32-34.
10. Буркова И.В., [и др.]. Модели и методы оптимизации планов проектных работ. Москва: Рос. акад. наук, Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова., 2005. 103 с.
11. СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054198> (дата обращения: 01.09.2021).
12. Гусакова Е.А., Павлов. А.С. Основы организации и управления в строительстве в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для вузов. 2-е-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 258 с. с.
13. Гусакова Е.А., Павлов А.С. Основы организации и управления в строительстве в 2 ч. Часть 2 : учебник и практикум для вузов. 2-е-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 318 с с.
14. Амбарцумян С.А., Мачалин Д.Е., Аветисян Р.Т., Събева Ю.А. Анализ рисков, возникающих на этапах производства, транспортировки, монтажа крупногабаритных модулей в проектное положение // Известия высших учебных заведений, № 1(769), 2023. С. 84-95.
15. Грабовый П.Г., Самосудова Н.В. Законодательная основа, правоприменение и перспективы развития жилищной политики и жилищных отношений // Недвижимость: экономика и управление, № 2, 2020. С. 73-82.
16. Hashemkhani Zolfani S., Yazdani M., Zavadskas E.K. An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process // An extended stepwise weight assessment ratio analysis

(SWARA) method for improving criteria prioritization process, No. 22, 2018. pp. 7399-7405.

17. Маилян Л.В., Зеленцов А.Л. Создание системы менеджмента качества в строительстве в условиях саморегулирования // Инженерный вестник Дона, № 3(26), 2013. С. 140.
18. Теличенко В.И. Пути развития инженерного потенциала. На примере строительной отрасли // Вестник Высшей школы, № 8, 2011. С. 7-12.
19. Шрейбер А.К., Опарина Л.А., Карасев И.С. // В сборнике: "Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности". "Современные задачи инженерных наук". Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума. Москва, 2021. С. 85-88.
20. Рыбакова А.О., Алешин А.А. Материалы V Международной научно-практической конференции "ВМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ" (20–22 апреля 2022 года) // Особенности обучения и внедрения технологий информационного моделирования в высшем образовании. Санкт-Петербург. 2022. С. 205-210.
21. Опарина Л.А., Земляникина Е.М. Обоснование необходимости создания организационной структуры процессов обращения с отходами строительства // Статья в сборнике трудов конференции "Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений", 2015. С. 58-63.
22. Олейник П.П., Ширшиков Б.Ф. Состав разделов организационно-технологической документации и требования к их содержанию: учебное пособие. Москва: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. 64 с.
23. Официальный сайт ФАУ «Главгосэкспертиза России» [Электронный ресурс] URL: <https://gge.ru> (дата обращения: 01.12.2021).

24. Лapidус А.А., Фельдман А.О. Информационное взаимодействие участников строительного проекта как дополнительный фактор оценки организационно-технологического потенциала // Вестник МГСУ. 2016. № 6. С. 101-106.
25. Кули С. Вариантное проектирование поточного строительства комплекса объектов : автореферат дис.. кандидата технических наук : 05.23.08. Москва. 1992.
26. Кабанов В.Н., Трандофиров А.А., Степанов К.В., Друхольский В.К., Шадрина Е.Э. Вариантное проектирование строительных процессов как способ принятия рационального решения по срокам и стоимости строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, Т. 50, № 69, 2017. С. 37-45.
27. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. Москва: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
28. Aish R. Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD // CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building, Jul 1986. pp. 7-9.
29. Гинзбург А.В. Информационные технологии для строительных специальностей // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021 Сборник докладов Второй Национальной научной конференции, 2022. С. 906-910.
30. Гинзбург А.В. Технологии информационного моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции. , 2020. С. 936-939.
31. Гинзбург А.В., Баранова О.М., Блохина Н.С., Волков А.А., Гаряев Н.А., Гинзбург В.М., Игнатов В.П., Игнатова Е.В., Истомин Б.С., Каган П.Б. и

др. Системы автоматизации проектирования в строительстве. Москва: МИСИ-МГСУ, 2014. 664 с.

32. Гусакова Е.А. Информационное моделирование жизненного цикла проектов высотного строительства // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 1(112). С. 14-22.
33. Маковий К.А., Корелина Т.В., Копытина А.А. Использование информационной модели здания в строительном производстве // Научный вестник Воронежского ГАСУ, серия информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах., № 1, 2018. С. 67-70.
34. Цифровое строительство [Электронный ресурс] // Отраслевой журнал "Строительство": [сайт]. [2020]. URL: <http://ancb.ru/publication/read/9694> (дата обращения: 07.07.2021).
35. Примеры проектов [Электронный ресурс] // Решения для проектирования и строительства инфраструктурных объектов: [сайт]. URL: <https://infrabim.csd.ru/projects/> (дата обращения: 01.07.2022).
36. Бобрицкий Н.В., Юфин В.А. Основы нефтяной и газовой промышленности : [Учеб. по спец. "Сооружение газонефтепроводов и газохранилищ" и "Трансп. и хранение нефти и газа"]. Москва: Недра. 1988 с.
37. ГОСТ Р 58760-2019 Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия. [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170185> (дата обращения: 30.11.2021).
38. "ЛЕГО" из Челябинска // Газовая промышленность. 2017. № 8 (756). С. 20-21.

39. Бусыгина А.Н., Коркишко А.Н. Комплектно-блочный метод организации строительства нефтепромысловых объектов // Вестник МГСУ, Т. 12, № 4(103), 2017. С. 429-436.
40. ГОСТ 25957-83. Здания и сооружения мобильные (инвентарные). Классификация. Термины и определения. [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708131> (дата обращения: 30.11.2021).
41. Баталин Ю.П. Комплектно-блочное строительство объектов нефтяной и газовой промышленности : Справ. пособие. Москва: Недра, 1986. 585 с.
42. Субботин Г.Е. Экономика комплектно-блочного строительства нефтегазовых объектов. 167-е изд. Москва: Недра.
43. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 148-155.
44. РД 102-005-88 от 01.08.1088 "Комплектно-блочный метод строительства наземных объектов. Общие требования" [Электронный ресурс] // электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. [1988]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200072977> (дата обращения: 30.11.2021).
45. Хамад Р.А. Внутренняя среда в модульных зданиях малых предприятий легкой промышленности в условиях Ирака : автореферат дис. кандидата технических наук : 05.23.01. Москва. 2000.
46. ГОСТ 22853-86. Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия. [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума

«Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901705977> (дата обращения: 30.11.2021).

47. Методические рекомендации по комплектно-блочному строительству объектов. Методические рекомендации. [Электронный ресурс] // Библиотека нормативной документации: [сайт]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/48/48330/> (дата обращения: 29.11.2021).
48. Сычев С.А. Оценка качества технологии высокоскоростного возведения зданий из блок-модулей с учетом критерия безопасности // Жилищное строительство, № 8, 2015. С. 3-8.
49. Панфилов А.В. К вопросу о потенциале применения аддитивных технологий при формировании объектов мобильной архитектуры // Системные технологии, № 31, 2019. С. 120-126.
50. Здания из крупногабаритных модулей по технологии Комбината Инновационных Технологий – МонАрх: Проектирование, изготовление, транспортирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ : Стандарт организации. Москва: ООО "Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх", 2020. 147 с.
51. Молодин В.В., Долгушев А.А., Ткаченко И.Г., Полякова А.А., Реводько Г.А. Организация конвейерной сборки блок-квартир при их изготовлении и монтаже непосредственно на строительной площадке // Научно-технический журнал «Строительное производство», № 1(41), 2022. С. 31-37.
52. Сауков Д.А., Гинзберг Л.А. Современное модульное строительство // Безопасность критических инфраструктур и территорий. Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур. сборник статей. :, 2018. С. 69-82.
53. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // Жилищное Строительство, № 3, 2016. С. 26–33.

54. Эльяш М.Л., Маршев В.З. Технология комплектно-блочного монтажа оборудования : монография. Москва: Стройиздат, 1994. 204 с.
55. Сычев С.А., Шевцов Д.С. Быстровозводимые высотные здания из модульных трансформируемых строительных систем повышенной заводской готовности в условиях крайнего севера // Вестник гражданских инженеров, № 1(60), 2017. С. 153-160.
56. Адам Ф.М. Методы технической диагностики и мониторинга при строительстве и эксплуатации быстровозводимых модульных зданий с учетом критериев безопасности, надежности и качества. Санкт-Петербург: Стройиздат СПб, 2005. 59 с.
57. Типовые инвентарные здания и помещения строительных организаций [Текст] // In: Госстрой СССР. Центр. науч.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву "ЦНИИОМТП". Москва: Стройиздат, 1972.
58. Письмо от 12 мая 1998 года N 16-14/96 "О строительстве домов из объемных блоков полной заводской готовности системы "Модуль" [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708246> (дата обращения: 30.11.2021).
59. Олейник П.П., Степанов И.В. Мобильные здания в строительстве. 2-е изд., перераб. и доп.-е изд. Москва: Стройиздат. 136 с.
60. Асаул А.Н. Быстровозводимые здания и сооружения = The quickly build buildings and construction : науч. и учеб.-метод. справ. пособие. СПб: Гуманистика, 2004. 460 с.
61. Мищенко В.Я., Добросоцких М.Г., Эрсбурн Е.Э. Оптимизация календарного плана строительного производства путем перераспределения нескладируемых ресурсов // Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 1. С. 83–87.

62. Березин В.Л., Бобрицкий Н.В. Сооружение насосных и компрессорных станций. Москва: Недра, 1985.
63. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гельруд Я.Д. Умное управление проектами: учебное пособие / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Я.Д. Гельруд и др.; под ред. чл.-корр. РАН. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. 189 с.
64. Израилев Е.М. Мобильная архитектура вчера, сегодня, послезавтра. СПб: Стройиздат, 1997. 315 с.
65. Афанасьев А.А., Арутюнов С.Г., Афонин И.А., Вильман Ю.А., Король Е.А., Соколов Г.К., Тауенис А.М. Технология возведения полносборных зданий. Москва: АСВ, 2000. 363 с.
66. Поручение Президента РФ от 19.07.2018 "О первоочередных задачах по модернизации строительной отрасли и повышению качества строительства" [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. [2018]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550966183> (дата обращения: 01.12.2021).
67. ГОСТ Р 10.00.00.00-2023 «Единая система информационного моделирования. Основные положения» // СоюзСпецСтрой. 2023. URL: <https://spbssk.ru/wp-content/uploads/2021/09/okonchatelnaya-redakciya-gost-r-10-0-0000.pdf> (дата обращения: 01.05.2023).
68. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий [Текст] : учебное пособие для вузов. ДМК Пресс, 2015. 409 с.
69. Макиша Е.В. Анализ методов перевода требований нормативно-технической документации в машиночитаемый формат для проверки информационных моделей строительных объектов // Научный журнал «Моделирование, оптимизация и информационные технологии», Т. 7, № 2, 2019. С. 339-350.

70. Galkina E., Kuzina O. Building information model verification at the lifecycle stage of construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 365 (6), No. 062031, 2018.
71. Лебедев В.М. Совершенствование информационного моделирования строительства: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. 212 с.
72. Ansah M.K., Chen X., Yang H., Lu L., Lam P.T.I. Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings // Environmental Impact Assessment Review, Vol. 90, No. 106618, 2021.
73. Каган П.Б., Куликова Е.Н., Малыха Г.Г., Кулакова В.В., Шеина С.Г. Функционально-системный анализ и системотехника организационно-технологического проектирования в строительстве № 9 // Научно-технический журнал «Наука и бизнес: пути развития». 2018. № 9(87). С. 11-16.
74. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 12. С. 1628-1637.
75. Лapidус А.А., Фельдман А.О. Оценка организационно-технологического потенциала строительного проекта, формируемого на основе информационных потоков // Вестник МГСУ, № 11, 2015. С. 193-291.
76. Морозенко А.А. Информационный подход к решению организационных задач - основа прогресса в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 57-60.
77. Sanchez B., Rausch C., Haas C., Hartmann T. A framework for BIM-based disassembly models to support reuse of building components // Resources, Conservation & Recycling, Vol. 175, No. 105825.

78. Лapidус А.А., Мищенко А.Ю. Потенциал эффективности организационно-технологических решений при строительстве крупных промышленных комплексов // Перспективы науки, № 12(111), 2018. С. 10-14.
79. Талапов В.В., Талыгина Е.А. Об общей схеме информационной модели объекта недвижимости // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2018. Т. 23. № 2. С. 211-218.
80. Талапов В.В., Таныгина Е.А. Особенности создания информационной модели объекта недвижимости // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 7. № 2. С. 16-20.
81. Канев В.В., Лаптев Д.В. Опыт применения технологий информационного моделирования для анализа архитектурно-конструктивных решений зданий // Инновации. Наука. Образование, № 21, 2020. С. 1147-1152.
82. Zheleznov M., Rybakova A. Scheme of the planning organization of the land plot section development based on information modeling // CATPID-2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.. 2021. Vol. 1083. No. 012047.
83. Кисель Т.А., Тюрин И.А. Особенности внедрения технологий информационного моделирования на российских предприятиях инвестиционно-строительной сферы // Финансовая экономика, № 3, 2020. С. 151-155.
84. Астафьева О.Е., Горелова О.А. Ценообразование и технологии информационного моделирования в строительстве : учебное пособие для подготовки бакалавров по направлению 38.03.01 Экономика. Москва: ГУУ, 2021. 91 с.
85. Лангнер Е.А., Бритиков В.А., Ковтуненко М.Г. Сметная документация. состав проектно-сметной документации и виды сметной документации //

Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ", № 8, 2020. С. 330-336.

86. Кузина О.Н. Автоматизация оперативного управления на строительной площадке в модели C-BIM // Экономика и предпринимательство. 2017. Т. 11. № 88. С. 890-893.
87. Кузина О.Н. Верификация информационной модели здания на этапе перехода от проектной стадии к строительству (от D-BIM к C-BIM) // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 6. С. 156.
88. Cho C.Y., Won J., Nam S. IFC Model Restructuring Framework for Efficient Bulk-loading to Object-relational IFC Model Server // KSCE Journal of Civil Engineering, № 22, 2018. С. 4930–4939.
89. Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27.12.2002 N 184-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] // «Консультант Плюс»: [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 01.12.2021).
90. СП 331.1325800.2017 «Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556793894> (дата обращения: 04.03.2022).
91. СП 301.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/555664724> (дата обращения: 02.02.2022).

92. СП 480.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Требования к формированию информационных моделей объектов капитального строительства для эксплуатации многоквартирных домов» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565278451> (дата обращения: 03.03.2022).
93. Chong O.W., Zhang J. Logic representation and reasoning for automated BIM analysis to support // Automation in Construction, Vol. 129, No. 103756, 2021.
94. Rathnapala T.D.G. Incorporating Prefabrication Processes Into Building. Towards a framework for Incorporating Prefabrication Processes into Building Information Modelling. 2009.
95. Рыбакова А.О. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. № 2. С. 5-5.
96. Robinson A. ISBU Modular Construction and Building Design Prototypes : A dissertation thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the degree Doctor of Engineering (EngD). London: Loughborough University, 2017. 238 pp.
97. Goh M., Goh Y.M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes // Automation in Construction , Vol. 101, 2019. pp. 227-244.
98. Jang S., Lee G. Building Information Modelling (BIM) Based Generative Design for Drywall Installation Planning in Prefabricated Construction // Automation in Construction, Vol. 89. pp. 86-98.
99. Lee J., Kim J. BIM-Based 4D Simulation to Improve Module Manufacturing Productivity for Sustainable Building Projects // SUSTAINABILITY, Vol. 3, No. 9, 2017. P. 426.

100. Tan T., Lu W., Chen K., Xue F. Barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in China's prefabricated construction: An interpretive structural modeling (ISM) approach // *Journal of Cleaner Production*, Vol. 219, 2019. pp. 949-959.
101. Lu W., Chen K., Xue F., Pan W. Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework // *Journal of Cleaner Production*, Vol. 201, 2018. pp. 236-245.
102. Rybakova A. A study of aspects of structural design based on application of complete modular units // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 3(263). No. 04038.
103. Zhanga J., Longa Y., Lva S., Xiang Y. BIM-enabled Modular and Industrialized Construction in China // *Procedia Engineering*, No. 145, 2016. pp. 1456 – 1461.
104. Rybakova A. Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis // *Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies. Lecture Notes in Civil Engineering* Springer, Cham. 2022. No. 231.
105. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Быков В.Л., Князь И.П., Ерофеев П.Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и зарубежом. СПб.: Гуманистика, 2004. 472 с.
106. Baghchesaraei A., Baghchesaraei O.R. The Importance of Infrastructures in the Development of Modern Methods of Construction // *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 9, No. 21, 2014. pp. 11689-11692.
107. Baghchesaraei A., Kaptan M.V., Baghchesaraei O.R. Using Prefabrication Systems in Building Construction // *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 24, 2015. pp. 44258-44262.

108. Железнов М.М., Казаков С.Д. Обработка замечаний экспертизы с использованием Среды Общих Данных (СОД) // Строительство и архитектура, № 1, 2023. С. 11-11.
109. Синенко С.А., Титов С.К. Проблемы качества строительно-монтажных работ по возведению несущего каркаса крупнопанельных жилых зданий серии ПИК // Инженерный вестник Дона, № 6(78), 2021. С. 223-246.
110. СП 404.1325800.2018 «Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализуемых с применением технологии информационного моделирования» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553863489> (дата обращения: 05.01.2022).
111. СП 481.1325800.2020 «Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила применения в экономически эффективной проектной документации повторного использования и при ее привязке» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565278460> (дата обращения: 03.03.2022).
112. Чепелева Н.Н. Информационное моделирование в строительстве. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2021.
113. Нехорошкова Л.Г. Информационное моделирование и анализ требований : учебное пособие. Йошкар-Ола: Йошкар-Ола. 145 с.
114. Игнатова Е.В. Информационное моделирование объектов строительства : учебное наглядное пособие по направлениям подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии : учебное наглядное электронное издание. Москва: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2020.

115. Керро Н.И. Экологическая безопасность в строительстве: информационное моделирование при проектировании : учебное пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 281 с.
116. Игнатова Е.В., Шилова Л.А., Давыдов А.Е. Технологии информационного моделирования зданий : учебно-методическое пособие : учебное электронное издание. Москва: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2019. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
117. Главатских Л.Ю., Мельникова О.Г. Применение информационного моделирования в архитектурном проектировании : учебное пособие в 2-х частях. Волгоград: ВолгГТУ, 2018. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
118. Евтушенко С.И., Феттер М.Г. Методика расчета трудоемкости и стоимости создания 3d-тел при лазерном сканировании при реализации проекта dt-bim // 2023. №. 1. С. 22-22. // Строительство и архитектура, № 1, 2023. С. 22-22.
119. Шеина С.Г., Зильберова И.Ю., Гиря Л.В., [и др.]. Устойчивое развитие. Методы и технологии информационного моделирования в строительстве. Энерго- и ресурсосбережение : монография. Ростов-на-Дону: Издательство "ДГТУ", 2021. 166 с.
120. Рыбакова А.О. Оценка эффективности проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование, Т. 12, № 3, 2022. С. 9-9.
121. СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/607168489> (дата обращения: 05.01.2022).

122. Рыбакова А.О. Формирование данных информационной модели модульного здания в формате OLAP // Строительство и архитектура, № 1, 2023. С. 21-21.
123. СП 333.1325800.2020. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514520> (дата обращения: 15.01.2022).
124. Naranje V., Swarnalatha R. Design of tracking system for prefabricated building components using RFID technology and CAD model // Procedia Manufacturing. 2019. No. 32. pp. 928-935.
125. Pittau F., Malighetti L., Iannaccone G., Gabriele G. Prefabrication as large-scale efficient strategy for the energy retrofit of the housing stock: An Italian case study // Procedia Engineering. 2017. No. 180. pp. 1160-1169.
126. Эльшейх А.М., Игнатова Е.В. Составление 4D графика строительства на основе BIM // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10(77). С. 265-267.
127. Lee M., Lee D., Kim T., Lee U.K. Practical Analysis of BIM Tasks for Modular // Sustainability, Vol. 12, No. 6900, 2020.
128. Шеина С.Г., Гиря Л.В., Миненко Е.Н. Разработка рабочего проекта строительного объекта с использованием технологий информационного моделирования (BIM) : учебное пособие. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020. 131 с.
129. Голосова Т.С., Бачурина С.С. Инвестиционная составляющая в проектах внедрения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 126-134.
130. Романов А.Г. Анализ средств группировки элементов для разработки модулей в AUTODESK REVIT // Дни студенческой науки. Сборник

- докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института цифровых технологий и моделирования в строительстве (ИЦТМС) НИУ МГСУ, 2022. С. 210-213.
131. Гарифуллина А.Р. Инструменты информационного моделирования // Инновации. Наука. Образование., № 12, 2020. С. 451-458.
132. СП 328.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели» [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514518> (дата обращения: 02.01.2022).
133. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник МГСУ, Т. 15, № 6, 2020. С. 867–906.
134. Каган П.Б., Рыбакова А.О., Титенко В.И. Работа службы технического заказчика при использовании модульных элементов на протяжении жизненного цикла объектов капитального строительства // Научно-технический журнал «Строительное производство», № 3(43), 2022. С. 34-40.
135. Гинзбург А.В., Романова Е.В. Технологии информационного моделирования в подготовке строителей // Сметно-договорная работа в строительстве, № 3, 2022. С. 54-61.
136. Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Строительная отрасль и концепция "Индустрия 4.0": обзор // Вестник МГСУ, Т. 16, № 7, 2021. С. 885-911.
137. Топчий Д.В. Организационно-технические решения по обеспечению качества строительно-монтажных работ на различных этапах

- жизненного цикла объекта строительства // Вестник МГСУ, Т. 18, № 2, 2023. С. 283-292.
138. Бурков В.Н., Буркова И.В., Коргин Н.А., Щепкин А.В. Модели согласованного комплексного оценивания в задачах принятия решений. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20. № 2. С. 5-13.
139. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 10 июля 2020 г. № 374/пр "Об утверждении классификатора объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям [Электронный ресурс] // "лектронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. [2020]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565517897> (дата обращения: 28.11.2021).
140. Классификаторы информационного моделирования [Электронный ресурс] // Государственное автономное учреждение города Москвы "Московская государственная экспертиза": [сайт]. [2019]. URL: <https://exp.mos.ru/> (дата обращения: 28.11.2021).
141. Классификация и назначение зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Пром Индустрия. Строительно-монтажная компания: [сайт]. [2022]. URL: https://prom66.ru/stati/article_post/klassifikaciya-i-paznachenie-zdaniy-i-sooruzhenij (дата обращения: 01.01.2022).
142. Кузина О.Н., Щедрина Л.Е., Мезенцева О.А. Классификатор цифровых технологий производства строительных работ // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции., 2020. С. 954-959.
143. Тимченко В.С., Волкодав В.А., Волкодав И.А., Тимченко О.В., Осипов Н.А. Разработка элементов классификатора строительной информации для создания и ведения информационных моделей объектов

- капитального строительства в части процессов проектирования, управления строительными процессами и строительной информации // Вестник МГСУ, Т. 16, № 7, 2021. С. 926-954.
144. Журавлев П.А. Номенклатура требуемых объектов капитального строительства для ресурсно-технологического моделирования // Промышленное и гражданское строительство, № 7. С. 52-57.
145. ИИЭСМ. Институт инженерно-экологического строительства и механизации. Общие сведения о зданиях и сооружений // Московский государственный строительный университет. 2012. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.2water.ru/download/dpo/DPO%20ViV%20Ch_1_1.pdf (дата обращения: 10.10.2021).
146. Гасиев А.А. Современное капитальное объемно-блочное строительство в России на основе универсальной объемно-блочной (модульной) системы с несущим металлическим каркасом // Жилищное строительство, № 10, 2020. С. 38-48.
147. СП 160.1325800.2014 "Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования" [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113272> (дата обращения: 09.01.2021).
148. Лицкевич В.К., Конова Л.И. Учет природно-климатических условий местности в архитектурном проектировании: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе. МАРХИ, 2011. 44 с.
149. Лицкевич В.К. Жилище и климат. Москва: Стройиздат. 22 с.
150. Руководство по строительной климатологии (пособие по проектированию). Москва: Стройиздат, 1977.
151. Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» [Электронный ресурс] //

- Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: [сайт]. [2005]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040973>
152. СП 42.13330.2016 "Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений" [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113272> (дата обращения: 01.09.2021).
153. Rybakova A., Kagan P. Application of Building Information Modeling in Data Center design // FORM-2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869. No. 022006.
154. ГОСТ Р 56639-2015 Технологическое проектирование промышленных предприятий. Общие требования. [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: [сайт]. [2015]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124955> (дата обращения: 10.10.2021).
155. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. Москва: Наука, 1973. 157 с.
156. Загорская А.В., Лapidус А. Применение методов экспертной оценки в научном исследовании. Необходимое количество экспертов // Научно-технический журнал «Строительное производство», № 3, 2020. С. 21-34.
157. Любушин Н.П., Брикач Г.Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика, № 18(370), 2014.
158. Постников В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Машиностроение и компьютерные технологии, № 5, 2012.

159. Щекин А.В. Априорное ранжирование факторов. Методические указания к лабораторной работе для студентов специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов». Хабаровск: Хабар.гос.техн.ун-та, 2004. 12 с.
160. Федюкин В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 080502 "Экономика и управление на предприятии (по отраслям)". Москва: КноРус, 2009.
161. Rybakova A. Formation of the main tasks and functions of information modeling for the implementation of modular projects // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2791. No. 050053.
162. Ramdane Y., Boussaid O., Bouk-raà D., Kabachi N. Building a novel physical design of a distributed big data warehouse over a Hadoop cluster to enhance OLAP cube query performance // Parallel Computing, Vol. 111, No. 102918.
163. Азарян М.А., Насырова, Б.Х., Казарян Д.М., Таволжанова О.А. Моделирование OLAP куба: реализация гиперкуба // Аллея науки, Т. 1, № 1(64), 2022. С. 1278-1284.
164. Сарсимбаева С.М., Ауезова Э.М. Разработка гибридных OLAP систем многомерного анализа данных на основе MICROSOFT ANALYSIS SERVICES // Вестник алматинского университета энергетики и связи, № 1(44), 2019. С. 79-85.
165. Farmer M. The Farmer Nstruction Labour Model // Construction Leadership Council, 2016.
166. Ji Y.B., Qi K., Qi Y., Li Y., Li H.X., Lei Z., Liu Y. BIM-based life-cycle environmental assessment of prefabricated buildings // Eng. Constr. Archit. Manag., No. 27, 2020. pp. 1703-1725.
167. Moghadam M., Alwisy A., Al-Hussein M. Integrated BIM/Lean Base Production Line Schedule Model for Modular Construction Manufacturing //

In Proceedings of the Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, 2012.

168. Shin H.K., Ahn Y.H. Decision model of construction errors management based on modular method construction process // Korea Inst. Constr. Eng. Manag, No. 18, 2017. pp. 98–108.
169. Jang S., G. Lee. Process, productivity, and economic analyses of BIM-based multi-trade prefabrication—A case study // Automation in Construction, No. 89, 2018. pp. 6-98.
170. Ельфинова А.Г. Зависимость уровней проработки информационной модели здания от требований заказчика строительства // Наука и бизнес: пути развития, № 7(109), 2020. С. 56-58.
171. Панфилов А.В. Эволюция, особенности развития и классификационные основы формирования мобильного жилища для временного пребывания // Архитектура и современные информационные технологии, № 4(7), 2011. С. 14.
172. Alshabab M.S., Petrichenko M., Vysotskiy A., Khalil T. BIM-based quantity takeoff in Autodesk Revit and Navisworks manage // Proceedings of ECECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. pp. 413-421.
173. Червова Н.А., Лепешкина Д.О. Коллизии инженерных систем при проектировании в BIM-платформах // Строительство уникальных зданий и сооружений, № 3(66), 2018. С. 19-29.
174. Николаева А.С. Информационная модель здания как средство проектно-сметного аудита // Информационные и телекоммуникационные технологии., № 52, 2021. С. 37-41.
175. Ельфинова А.Г. Влияние стратегии использования цифровой модели на информационное наполнение ее элементов // Наука и бизнес: пути развития, № 7(109), 2020. С. 52-55.

176. Максютов М.С., Кадымов В.А. О безмоментном напряженно-деформированном состоянии гладкого тора, нагруженного равномерным внутренним давлением // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева, № 4(34), 2017. С. 104–113.
177. PLY Files an ASCII Polygon Format [Электронный ресурс] // Dept. of Scientific Computing at Florida State University, in Tallahassee, Florida.: [сайт]. [2012]. URL: <https://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/data/ply/ply.html> (дата обращения: 03.03.2023).
178. Асриянц С.В., Пономарёва Е.В., Аветян Г.А. Хранение документов в базе данных на примере системы управления базами данных PostgreSQL // Сборник статей XIII международной научно-практической конференции "Российская наука в современном мире", Т. 1, 2017. С. 68-70.
179. Жаворонков Д.С., Бабкина А.А., Довгий Е.Ю. Достоинства фреймворка Yii2 в разработке REST систем // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции "Чистая наука" на службе научно-технического прогресса, 2018. С. 9-11.
180. Вахрамов С.В., Мусин А.М., Ризванов Д.А., Хамитов М.А. Использование Prettier и Git Hooks для автоматического поддержания культуры кода в TypeScript-проекте // Научное обозрение. Технические науки, № 4, 2020. С. 24-28.
181. Куклина Д.А., Шамышев А.А. Технологии интеграции 3D-модели в REACT-приложение // Молодежная наука в развитии регионов, Т. 1, 2023. С. 70-72.
182. Митяева А.П., Дроздова Е.Н. Анализ принципов создания 3D-графики на примере библиотеки THREE.JS // Вестник молодых ученых санкт-петербургского государственного университета технологии и дизайна, № 3, 2021. С. 42-47.

183. Рыбакова А.О. Методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности // Научно-технический журнал «Строительное производство», № 2(46), 2023. С. 99-102.
184. Рыбакова А.О. Перспективы развития автоматизированного проектирования центров обработки данных на основе применения технологий информационного моделирования зданий // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», Т. 7, № 1, 2020.
185. Рыбакова А.О., Якубович А.М. Применение информационного моделирования при проектировании центров обработки данных в соответствии с системой сертификации Uptime Institute // Научно-технический журнал «Наука и бизнес: пути развития», № 1(103), 2022. С. 68-70.
186. Уилкоккс Э., Хоффнер Д., Шинковиц Ш., Рансис Д., Гьюраник З. Модульный центр обработки данных и способ его формирования, Патент на изобретение RU 2700001 С2, 12.09.2019. Заявка № 2016107438 от 02.10.2014, Sep 12, 2019.
187. Захаров А.И., Брякалов Г.А., Михайлова П.И., Чумакова Е.В. Методика расчета и оценки состава IT-оборудования центра обработки данных // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление, № 2, 2019. С. 110-119.
188. Liquid Cube CS [Электронный ресурс] // INPRO TECHNOLOGIES: [сайт]. URL: https://inpro.ru/products/konteynernoye_resheniye (дата обращения: 20.12.2020).
189. Кривошейцева Е.А., Корницкая М.Н. 4D-моделирование зданий с использованием AUTODESK NAVISWORKS // Ползуновский альманах., № 1, 2022. С. 94-96.

190. Поняев А.Н., Дворников Ю.Я., Абрамова Д.О. Проблемы проектирования в строительстве, их решение // Техника. Технологии. Инженерия., № 3(13), 2019. С. 13-17.
191. Климанов С.Г., Громов В.Н. Системный подход к проблеме проектирования и строительства быстровозводимых сооружений для обустройства войск в районах арктики // Актуальные проблемы военно-научных исследований, № 1(13), 2021. С. 319-335.
192. Зеленцов Л.Б., Шогенов М.С., Пирко Д.В. Проблемы интеграции проектирования и строительства на основе цифровых технологий сборнике // Строительство и архитектура – 2020. Факультет промышленного и гражданского строительства Международной научно-практической конференции. Донской государственный технический университет, 2020. С. 291-292.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЗУЛЬТАТ РАНЖИРОВАНИЯ ГРУПП КРИТЕРИЕВ

Код критерия	Название критерия	Оценка экспертов (ранжирование)												ИТОГ: Критерий значимости (CW)	
		Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12		
GO	Назначение объекта (GO)	2	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	4	0,18
F	Количество этажей (F)	3	3	5	5	4	5	5	5	1	5	5	5	0,28	
OS	Общая площадь (OS)	4	4	2	2	5	2	5	2	5	2	1	2	0,20	
KP	Климатический пояс (KP)	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	0,08	
L	Логистика (L)	5	5	4	4	3	4	1	4	4	4	4	3	0,25	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. РЕЗУЛЬТАТ РАНЖИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ

Название критерия		Об-е	Оценка экспертов (ранжирование)												Итоговая оценка
			Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	
Гражданские	Жилые	C.R	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7,58
	Общественные	C.P	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7	7,42
Промышленные	производственные	IN.P	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1,42
	подсобные	IN.A	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3,50
	складские	IN.S	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5,58
	энергетические	IN.E	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1,58
Сельскохозяйственные		A	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3,50
Специализированные		S.x	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5,42
Количество этажей (F)	1-2 этажа	F1	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4,75
	3-5 этажей	F2	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4,25
	6-10 этажей	F3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2,67
	11-16 этажей	F4	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2,00
	17 и более этажей	F5	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1,33
Общая площадь (OS)	до 36 м ²	OS1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	2	1	1	1,33
	37-100 м ²	OS2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	3	1,83
	100-180 м ²	OS3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2,83
	180-250 м ³	OS4	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4,83
	250 м ² и более	OS5	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4,17
Климатический пояс (КР)	I	KP1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1,25
	II	KP2	2	1	2	3	2	1	2	3	2	1	2	2	1,92
	III	KP3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2,83
	IV	KP4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	4	5	4,50
	Особый	KP5	4	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4	4,50
Логистика (L)	В пределах города	O1	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2,75
	В пределах региона	O2	2	1	2	3	1	2	1	3	2	1	2	3	1,92
	За пределами региона	O3	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1,33

ПРИЛОЖЕНИЕ В. СООТВЕТСТВИЕ ТИМ-ФУНКЦИЙ И ЗАДАЧ МОДУЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Этап ЖЦ	Обозначение	Функция ТИМ									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Концепция	W1										✓
	W2										
Проектирование	W3										✓
	W4										✓
	W5	✓									✓
	W6			✓			✓	✓	✓	✓	
	W7	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	
	W8	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
	W9			✓		✓	✓			✓	✓
	W10				✓			✓	✓	✓	
	W11			✓				✓		✓	
	W12						✓			✓	✓
	W13			✓			✓			✓	✓
Производство МЭМГ	W14	✓	✓	✓		✓	✓			✓	
	W15	✓	✓	✓			✓			✓	
	W16				✓				✓		
	W17			✓	✓			✓	✓		
	W18						✓			✓	✓
СМР	W19				✓		✓	✓		✓	
	W20				✓		✓	✓	✓	✓	
	W21				✓		✓	✓	✓	✓	
	W22						✓			✓	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНДЕКСОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ

	T1-IE	T2-IE	T3-IE	T4-IE	T5-IE	T6-IE	T7-IE	T8-IE	T9-IE	T10-IE	ИТОГ
W1										0,15	0,45
W2											0,00
Общий:										0,15	0,45
W3										0,2	0,48
W4										0,35	0,50
W5	0,95									0,35	0,70
W6			0,55			0,25	0,95	0,25	0,72		0,58
W7	0,85	0,75	0,55			0,25	0,95	0,35	0,69		0,67
W8	0,95	0,75	0,56			0,15	0,95	0,15	0,71	0,75	0,66
W9			0,5		0,87	0,1			0,73	0,45	0,59
W10				0,35			0,95	0,15	0,72		0,61
W11				0,75			0,85		0,73		0,67
W12						0,25			0,71	0,75	0,53
W13			0,75			0,15			0,73	0,35	0,59
Общий:	0,92	0,75	0,58	0,55	0,87	0,19	0,93	0,23	0,72	0,46	0,67
W14	0,80	0,75	0,65		0,85	0,75			0,73		0,70
W15	0,95	0,76	0,7			0,75			0,73		0,72
W16				0,45				0,4			0,57
W17			0,65	0,35			0,75	0,7			0,68
W18						0,65			0,7	0,55	0,68
Общий:	0,88	0,76	0,67	0,4	0,85	0,72	0,75	0,55	0,72	0,55	0,71
W19				0,75		0,35	0,95		0,65		0,67
W20				0,45		0,15	0,75	0,75	0,5		0,59
W21				0,75		0,25	0,75	0,35	0,69		0,63
W22						0,15			0,69		0,53
Общий:				0,65		0,23		0,55	0,63		0,61
ИТОГ:	0,90	0,75	0,62	0,53	0,86	0,38	0,84	0,44	0,69	0,39	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. АКТ ВНЕДРЕНИЯ (ООО «АМДТЕХНОЛОГИИ»)



107076, Москва,
ул. Краснобогатырская, д. 89, стр. 1, эт 2, пом №65-№86
www.amd-tech.ru

T: +7 (495) 984-41-05
Ф: +7 (495) 963-92-11
E: info@amd-tech.ru

СРО № 0003.07-2009-7731575254-П-076 от 23.12.2016

АКТ

о внедрении результатов диссертации (научно-квалификационной работы)
Рыбаковой Ангелины Олеговны на тему:
«Использование модульных элементов максимальной готовности
на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального
строительства»

г. Москва

19 «мая» 2022г.

Настоящий акт подтверждает, что ООО «АМДтехнологии» были рассмотрены и внедрены в практическую деятельность результаты диссертации (научно-квалификационной работы) Рыбаковой А.О. на тему: «Использование модульных элементов максимальной готовности на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства».

В процессе реализации проектов ООО «АМДтехнологии» использует современные программные средства информационного моделирования, что позволяет провести анализ эффективности применения следующих разработок автора:

- алгоритм оценки необходимости и эффективности использования модульных элементов максимальной готовности на этапах проектирования и строительства;
- структура и параметры типовых BIM-блоков;
- алгоритм формирования комплексной информационной модели на основе конструктивного взаимодействия МЭМГ;
- методика разработки информационной модели на основе МЭМГ на этапах предпроектных разработок и проектирования.

По результатам анализа применения данных алгоритмов, методики и параметризации, выявлено, что подходы в области проектирования на основе модульных элементов максимальной готовности с использованием информационного моделирования, предложенные Рыбаковой А.О. обладают значительным потенциалом и позволяют повысить эффективность разработки проектной документации и ее качество.

Технический директор

Исполнительный директор



Гаврилов В.Н

Зятев В.В

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. АКТ ВНЕДРЕНИЯ (ООО «ИВЛИОН»)



ИВЛИОН

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ИВЛИОН»

107078
г. Москва.
Мясницкий проезд дом 4, стр. 1
ИНН 7701986698
ОКПО 17126521

АКТ

о внедрении результатов диссертации (научно-квалификационной работы) Рыбаковой Ангелины Олеговны на тему: «Использование модульных элементов максимальной готовности на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства»

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертации (научно-квалификационной работы) Рыбаковой Ангелины Олеговны на тему: «Использование модульных элементов максимальной готовности на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства» были использованы в деятельности ООО «ИВЛИОН».

Практическая реализация алгоритма формирования комплексной информационной модели на основе конструктивного взаимодействия модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ) и базирующейся на нем методики применялась для разработки информационной модели одного из объектов. Процесс моделирования объекта был сокращен примерно на 20%, а количество выявленных коллизий модели – на 15% относительно средних показателей аналогичных объектов.

В результате внедрения было выявлено, что основные положения исследования обладают актуальностью, имеют практическую направленность и могут применяться на этапе проектирования с применением технологий информационного моделирования. Целесообразность использования разработанных Рыбаковой А.О. подходов к использованию модульных элементов максимальной готовности на этапе проектирования, определяется повышением эффективности разработки проектной документации.

С уважением,
Генеральный директор
ООО «ИВЛИОН»



подпись

Ли В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. АКТ ВНЕДРЕНИЯ (ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ»)

ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ»
ИНН: 7813474909, КПП 781301001
197101, Санкт-Петербург, ул. Большая Монетная,
дом №16, корпус 1, Литер В, пом. 5-Н, №514

АКТ
о внедрении результатов диссертации (научно-квалификационной
работы)

Данный акт подтверждает, что результаты, полученные Рыбаковой Ангелиной Олеговной в рамках подготовки диссертации (научно-квалификационной работы) на тему: «Использование модульных элементов максимальной готовности на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства» успешно применялись в деятельности ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ».

По результатам внедрения были сделаны следующие выводы:

1. Разработанный автором алгоритм формирования комплексной информационной модели на основе конструктивного взаимодействия модульных элементов максимальной готовности (МЭМГ) и основанная на нем методика решают актуальные задачи в области управления жизненным циклом объекта строительства.
2. Результаты исследования, проведенного автором, обладают практической значимостью в области автоматизации проектирования и строительства, а также в вопросах принятия проектных решений.

Генеральный директор
ООО «ДВК-ДОРСТРОЙ»



Е.Б.Соколова