

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 711.2

На правах рукописи

ЯСКЕВИЧ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

**Парадигма внедрения BIM технологий в архитектурно-строительную
практику Республики Казахстан**

8D07302 – Архитектура и градостроительство

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)

Научный руководитель:
доктор архитектуры, профессор Б. У. Куспангалиев

Зарубежный научный руководитель:
Prof. Arch. Lavinia Chiara Tagliabue, PhD, Associate Professor

Республика Казахстан
Алматы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ.....	3
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1. МИРОВОЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ BIM ТЕХНОЛОГИЙ В АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ.....	17
1.1 Краткий исторический обзор развития автоматизации в архитектурном проектировании	17
1.2 Суть BIM технологии и её основные составляющие	32
1.3 Примеры применения BIM в жилых и общественных зданиях (2015– 2025).....	48
ГЛАВА 2. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ BIM НА ГОСУДАРСТВЕННОМ УРОВНЕ.....	97
2.1 Теоретические основы внедрения BIM на государственном уровне	97
2.2 Обзор мирового опыта внедрения BIM в национальном масштабе	110
2.3 Внедрение в Казахстане	136
ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЦЕССУ ВНЕДРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНЕ	154
3.1 Рекомендации по ускорению внедрения BIM в Казахстане.....	156
3.2. Разработка учебной программы «BIM-технологии в АСО» на основе требований профессиональных стандартов Республики Казахстан.....	166
3.3 Smart Campus как ядро проектно-ориентированного обучения BIM в секторе АЕСО: на примере Satbayev University (Казахстан).....	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	194
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложения	Ошибка! Закладка не определена.

НОРМАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

В диссертации использованы ссылки на следующие нормативно-правовые акты и стандарты:

Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 11.04.2017 г. № 197. *«О утверждении Плана мероприятий по внедрению технологии информационного моделирования при проектировании объектов строительства (BIM-технологий)»*.

Концепция внедрения технологии информационного моделирования (BIM) в промышленное и гражданское строительство Республики Казахстан. – Алматы: АО «КазНИИСА», 2017. – 68 с.

РДС РК 1.02-04-2018. Информационное моделирование в строительстве. Основные положения. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-111-2017. Применение информационного моделирования в проектной организации. – Астана, 2017.

СП РК 1.02-112-2018. Жизненный цикл строительных объектов. Часть 1. Общие понятия. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-113-2018. Жизненный цикл строительных объектов. Часть 2. Требования к информационным моделям на стадии предпроектной подготовки строительства. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-114-2018. Жизненный цикл строительных объектов. Часть 3. Требования к информационным моделям на стадии проектной подготовки строительства. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-115-2018. Правила организации совместного создания информации о строительстве (Среда общих данных). – Астана, 2018.

СП РК 1.02-116-2018. Требования к оформлению проектной документации, получаемой с использованием информационного моделирования. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-117-2018. Порядок проведения экспертизы информационных моделей. – Астана, 2018.

СП РК 1.02-118-2019. Жизненный цикл строительных объектов. Часть 4. Требования к информационным моделям на стадии строительства. – Нур-Султан, 2019.

СП РК 1.02-119-2019. Жизненный цикл строительных объектов. Часть 5. Требования к информационным моделям на стадии эксплуатации. – Нур-Султан, 2019.

СП РК 1.02-120-2019. Применение информационного моделирования в строительной организации. – Нур-Султан, 2019.

СП РК 1.02-121-2019. Применение информационного моделирования в эксплуатирующей организации. – Нур-Султан, 2019.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

BIM (Building Information Modeling) —

технология информационного моделирования зданий, представляющая собой цифровое отображение физических и функциональных характеристик объекта, обеспечивающее совместную работу участников на всех стадиях жизненного цикла объекта.

BCF (BIM Collaboration Format) —

формат обмена замечаниями и комментариями к BIM-моделям, позволяющий участникам проекта координировать правки и обсуждения независимо от используемого программного обеспечения.

BIM-компетенция —

совокупность знаний, умений и навыков, необходимых специалисту для эффективного применения BIM-технологий в проектировании, строительстве и эксплуатации объектов.

BIM-менеджер —

специалист, отвечающий за организацию, координацию и контроль всех процессов, связанных с внедрением и использованием BIM в проекте.

CDE (среда общих данных) —

централизованная цифровая платформа для хранения, управления и обмена проектной информацией в BIM-среде, обеспечивающая контроль версий и согласованность документов.

IFC (Industry Foundation Classes) —

открытый международный формат обмена данными в BIM, обеспечивающий интероперабельность между различными программными решениями и поддерживающий концепцию openBIM.

LOD (Level of Development) —

степень проработки элементов BIM-модели, определяющая уровень детализации и точности информации, необходимой на различных стадиях жизненного цикла объекта.

nD-моделирование —

обобщённый термин, обозначающий расширение базовой 3D BIM-модели дополнительными измерениями данных: 4D (время), 5D (стоимость), 6D (эксплуатация), 7D (устойчивость) и др., для комплексного управления жизненным циклом объекта.

OpenBIM —

концепция открытого взаимодействия участников строительных проектов с использованием нейтральных форматов и общих стандартов для обеспечения прозрачности, устойчивости и совместимости BIM-решений.

Актуализация модели —

процесс обновления информации в BIM-модели на основе фактических изменений в проекте или объекте, включая данные об эксплуатации.

Виртуальный двойник —

см. цифровой двойник.

Градостроительная документация —

совокупность нормативных, проектных и аналитических материалов, определяющих параметры планирования и развития территорий.

Информационная модель здания —

цифровая модель, включающая геометрические и негеометрические данные об объекте, используемая как единый источник достоверной информации на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации.

Информационные требования заказчика (EIR) —

документ, в котором заказчик формулирует ожидания к составу, структуре и уровню проработки информационной модели на разных этапах проекта.

Коллизия (в BIM) —

конфликт между элементами различных моделей (например, архитектурной и инженерной), выявляемый средствами автоматического анализа в BIM-среде.

Компетенция —

способность специалиста применять знания, умения и личные качества для успешной профессиональной деятельности в определённой области.

Концептуальное проектирование —

ранняя стадия архитектурного проектирования, направленная на разработку основных идей и функционально-пространственных решений объекта.

Координационная модель —

интегрированная BIM-модель, объединяющая проектные модели различных дисциплин для выявления коллизий и обеспечения согласованности проектных решений.

Методические рекомендации —

официальные документы, содержащие разъяснения и инструкции по применению стандартов, технологий или стратегий (включая BIM) в практической деятельности.

Образовательная траектория —

совокупность учебных дисциплин и форм обучения, направленных на формирование у студента конкретных компетенций, в том числе в области BIM.

Параметрическое моделирование —

метод проектирования, при котором форма объекта формируется автоматически на основе заданных параметров и алгоритмов.

Профессиональный стандарт —

нормативный документ, определяющий требования к знаниям, умениям и компетенциям специалистов в определённой профессиональной области, включая BIM-специальности.

Рабочее проектирование —

стадия разработки полной проектной документации, необходимой для строительства, включающая чертежи, расчёты, спецификации и инструкции.

САПР (система автоматизированного проектирования) —

программный комплекс, предназначенный для разработки проектной документации в цифровом виде, предшествующий BIM.

Техническое задание (ТЗ) —

официальный документ, содержащий цели, требования и исходные данные для проектирования и реализации объекта.

Уровень зрелости BIM —

показатель степени интеграции BIM в проекте: от 0 уровня (разрозненные 2D-чертежи) до 3 уровня (интегрированная модель с доступом в реальном времени и использованием облачных технологий).

Цифровая трансформация —

комплексное внедрение цифровых технологий (включая BIM, IoT, ИИ) для повышения эффективности процессов в архитектурно-строительной и образовательной деятельности.

Цифровой двойник —

виртуальная модель реального объекта, синхронизированная с фактическими данными в реальном времени (датчики, счётчики и др.), предназначенная для мониторинга, анализа и оптимизации эксплуатации.

Эскизный проект —

стадия архитектурного проектирования, в ходе которой формируется предварительный внешний вид здания и основные параметры, подлежащие утверждению.

Жизненный цикл здания —

совокупность стадий существования объекта — от проектирования и строительства до эксплуатации, реконструкции и утилизации, охватываемых в BIM-моделировании.

СОКРАЩЕНИЯ

В диссертационной работе используются следующие условные сокращения:

- AI** – *Artificial Intelligence* (Искусственный интеллект)
- AR** – *Augmented Reality* (Дополненная реальность)
- ASCE** – *American Society of Civil Engineers* (Американское общество инженеров-строителей)
- АЭК** – Архитектурно-экономический комплекс
- BCA** – *Building and Construction Authority* (Управление по строительству и строительной отрасли, Сингапур)
- BCF** – *BIM Collaboration Format* (Формат обмена комментариями к BIM-моделям)
- БЕР** – *BIM Execution Plan* (План выполнения BIM-проекта)
- BIM** – *Building Information Modeling* (Информационное моделирование зданий)
- BREEAM** – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (Метод экологической оценки зданий)
- CDE** – *Common Data Environment* (Среда общих данных)
- CIM** – *City Information Modeling* (Информационное моделирование города)
- ECTS** – *European Credit Transfer and Accumulation System* (Европейская система перевода и накопления кредитов)
- FM** – *Facility Management* (Управление объектами)
 - ГАП** – Главный архитектор проекта
 - ГИП** – Главный инженер проекта
 - ГИС** – Геоинформационная система
 - ГОСТ** – Государственный стандарт
- GSPBL** – *Guided Self-Planned Based Learning* (Метод обучения на основе самостоятельного планирования проекта)
- IFC** – *Industry Foundation Classes* (Открытый формат обмена данными в BIM)
- IES** – *Integrated Engineering System* (Интегрированная инженерная система)
- IPD** – *Integrated Project Delivery* (Интегрированная поставка проекта)
- ISCF** – *Industrial Strategy Challenge Fund* (Фонд промышленной стратегической инициативы)
- ИТ / IT** – *Information Technologies* (Информационные технологии)
- KazNIISA** – Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры
 - КДС** – Комитет по делам строительства
- LCA** – *Life Cycle Assessment* (Оценка жизненного цикла)
- LEED** – *Leadership in Energy and Environmental Design* (Система экологической сертификации зданий)
- MOOC** – Массовый открытый онлайн-курс
- nD BIM** – *n-Dimensional BIM* (Многомерное информационное

моделирование)

НПП – Национальная палата предпринимателей

PAS – *Publicly Available Specification* (Публично доступная спецификация, стандарт BSI)

PBE – *Project-Based Education* (Образование, основанное на проектной деятельности)

ПО – Программное обеспечение

RFI – *Request for Information* (Запрос на информацию)

RUCAPS – *Really Universal Computer Aided Production System* (Одна из ранних BIM-систем)

РГП – Республиканское государственное предприятие

РК – Республика Казахстан

РФ – Российская Федерация

SC – *Smart Campus* (Умный кампус)

СДО – Система дистанционного обучения

СНГ – Содружество Независимых Государств

СНР РК – Строительные нормативы Республики Казахстан

ТЗ – Техническое задание

VDC – *Virtual Design and Construction* (Виртуальное проектирование и строительство)

VR – *Virtual Reality* (Виртуальная реальность)

ВВЕДЕНИЕ

1. Актуальность исследования

В условиях стремительной цифровой трансформации строительного комплекса архитектурно-строительная отрасль становится одной из ключевых сфер, в которой определяются качество среды жизни, устойчивость городской застройки и конкурентоспособность национальной экономики. Цифровые технологии, и прежде всего Building Information Modeling (BIM), меняют не только инструментарий проектирования, но и архитектурно-пространственные решения, организацию строительного процесса и подходы к эксплуатации зданий. BIM рассматривается как интегрированная цифровая модель физических и функциональных характеристик объекта, обеспечивающая координацию участников на протяжении всего жизненного цикла – от концепции и архитектурного образа до эксплуатации и реконструкции.

Мировая практика показывает, что системное внедрение BIM становится важнейшим инструментом повышения эффективности архитектурно-строительной отрасли. Исследования McKinsey Global Institute и отраслевые SmartMarket-отчёты Dodge Data & Analytics фиксируют рост производительности строительного сектора до 15–25 % при внедрении цифровых технологий, включая BIM, и снижение совокупной стоимости проектов до 20 %. Государственные BIM-мандаты в Великобритании, Сингапуре, ряде стран ЕС и на Ближнем Востоке демонстрируют, что переход к моделированию на базе информационных моделей позволяет не только сокращать прямые затраты, но и повышать предсказуемость сроков, качество архитектурных решений и управляемость жизненного цикла объектов.

Для Республики Казахстан архитектурно-строительная отрасль имеет стратегическое значение: через неё реализуются государственные программы жилищного строительства, модернизации социальной инфраструктуры, развития транспортных и инженерных систем городов. По данным официальной статистики, объём строительных работ в стране в последние годы измеряется триллионами тенге, при этом значительная часть проектов финансируется из бюджета. На этом фоне особенно остро проявляются хронические проблемы отрасли: срывы сроков строительства, превышение сметной стоимости, недостаточная прозрачность процессов, сложности контроля качества и эксплуатации объектов. Эти проблемы во многом носят системный характер и описаны в международных исследованиях, посвящённых барьерам цифровой трансформации и внедрению BIM в странах с развивающимися и переходными экономиками.

Казахстан предпринял шаги по формированию нормативной базы для внедрения BIM: утверждена Концепция внедрения технологии информационного моделирования, разработан комплекс национальных нормативных документов, регламентирующих применение BIM на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации, а также правила организации

среды общих данных и экспертизы информационных моделей. Однако, несмотря на наличие концепции, приказов и свода стандартов, реализованная программа не обеспечила массового перехода отрасли на работу с информационными моделями. Использование BIM остаётся фрагментарным и, как правило, ограничивается отдельными проектными организациями, крупными девелоперами или пилотными объектами.

Анализ показывает, что одной из ключевых причин ограниченного эффекта государственной программы стала несогласованность между нормативными инициативами и реальным состоянием профессиональной и образовательной среды. Исследования международных и национальных авторов указывают на недостаток подготовленных кадров, слабую интеграцию BIM-компетенций в профессиональные стандарты и учебные планы, нехватку архитекторов и инженеров, способных мыслить в координатах жизненного цикла объекта и цифровой координации. Для Казахстана эти проблемы усугубляются общей неоднородностью развития регионов, дефицитом актуальных методических материалов на русском и казахском языках, а также ограниченным количеством локальных примеров, демонстрирующих экономические и качественные эффекты внедрения BIM.

Особое значение имеет образовательный аспект цифровой трансформации: от того, как будущие архитекторы, инженеры, специалисты по управлению строительством и эксплуатации овладевают BIM, зависит способность отрасли переходить от единичных инициатив к устойчивой системе. Международные исследования в области BIM-образования подчёркивают необходимость системного включения цифрового моделирования в архитектурное и инженерное образование, опирающегося не только на освоение программного обеспечения, но и на переосмысление архитектурного проектирования как работы с информационной моделью и жизненным циклом объекта.

Satbayev University выступил одним из флагманов внедрения BIM в архитектурное образование Казахстана. Институт архитектуры и строительства имени Т. К. Басенова при поддержке международных и национальных партнёров (Autodesk, ПА «КАЗГОР», КазНИИСА, ряд зарубежных университетов) организовал в 2017–2019 годах тематические форумы, направленные на обсуждение стратегии цифровой трансформации отрасли. На их основе в университете были разработаны и внедрены первые в Казахстане профильные дисциплины и курсы по BIM для архитекторов, инженеров-строителей и специалистов по инженерным системам. Эти инициативы заложили основу для формирования академического ядра BIM-компетенций и показали, что университет может выступать площадкой для пилотных проектов и тестирования новых подходов к цифровизации архитектурно-строительной отрасли.

Предварительная гипотеза диссертационного исследования заключается в том, что именно разрыв между государственными целями цифровизации архитектурно-строительной отрасли и фактическим состоянием подготовки специалистов является одной из ключевых причин

низкой результативности внедрения BIM в Казахстане. Это требует комплексного исследования архитектурно-строительной отрасли как объекта цифровой трансформации и разработки рекомендаций, связывающих нормативные, институциональные и образовательные механизмы внедрения BIM в единую архитектурно-ориентированную парадигму.

2. Объект и предмет исследования

Объектом настоящего исследования является архитектурно-строительная отрасль Республики Казахстан в условиях цифровой трансформации, включая систему архитектурного проектирования, строительного производства и эксплуатации зданий и сооружений.

Предметом исследования является процесс внедрения технологий информационного моделирования зданий (BIM) и смежных цифровых решений в архитектурно-строительную отрасль Республики Казахстан на уровне государственной политики, нормативно-институциональной среды и архитектурно-строительного образования. В фокусе анализа находятся механизмы, обеспечивающие или препятствующие интеграции BIM в практику проектирования, строительства и эксплуатации гражданских объектов, а также образовательные модели, формирующие требуемые BIM-компетенции архитекторов и инженеров.

3. Цель исследования

Целью настоящего исследования является формулирование практико-ориентированных рекомендаций по совершенствованию процесса внедрения технологий информационного моделирования зданий (BIM) в архитектурно-строительной отрасли Республики Казахстан. Особое внимание уделяется выработке подходов, обеспечивающих согласованное развитие нормативной, институциональной и образовательной составляющих, необходимых для устойчивой цифровой трансформации архитектурно-строительной практики.

4. Задачи исследования

В соответствии с поставленной целью в диссертации решаются следующие задачи:

проанализировать исторические этапы становления и развития BIM-технологий, выявить ключевые вехи эволюции и глобальные тренды цифровизации архитектурно-строительной деятельности;

определить основные компоненты BIM и охарактеризовать принципы их функционирования в архитектурной и строительной практике, включая аспекты проектирования, строительства и эксплуатации;

рассмотреть примеры эффективного применения BIM в мировых и казахстанских проектах жилых и общественных зданий;

исследовать причины и предпосылки внедрения BIM на государственном уровне, в том числе влияние национальных стратегий цифровизации и отраслевой политики;

провести сравнительный анализ стратегий внедрения BIM в Казахстане и других странах, выделив успешные модели и типичные ошибки;

изучить текущее состояние внедрения BIM в Республике Казахстан, включая нормативно-правовые, институциональные и образовательные условия;

разработать рекомендации по совершенствованию государственной стратегии внедрения BIM в архитектурно-строительной отрасли, с учётом отраслевой специфики и региональных особенностей;

предложить конкретные меры по интеграции BIM-компетенций в образовательные программы подготовки архитекторов, инженеров-строителей и других специалистов отрасли, включая формирование проектно-ориентированных траекторий обучения и использование цифровых двойников.

5. Научная новизна исследования

Степень научной разработанности проблемы. В мировой научной и профессиональной литературе сложился обширный корпус исследований, посвящённых BIM и цифровой трансформации строительства. Работы С. Eastman, J. Underwood и U. Isikdag, R. Sacks, P. Teicholz, J. Borrmann, а также национальные стандарты NBIMS и ISO 19650 формируют концептуальный каркас понимания BIM как интегрированной информационной среды, охватывающей жизненный цикл здания. Исследования R. Volk, R. Miettinen и S. Paavola, T. Oesterreich и F. Teuteberg, A. Bradley и др. раскрывают связь BIM с более широкой повесткой цифровизации, устойчивого развития и Industry 4.0.

Отдельное направление составляют работы, посвящённые государственным стратегиям внедрения BIM и политике цифровизации строительной отрасли: B. Succar, M. Kassem, G. Ofori, R. Jiang, EU BIM Task Group, национальные отчёты и руководства Великобритании, США, Сингапура и ряда европейских стран. Эти исследования анализируют макроуровневые модели BIM-мандатов, зрелость рынков и ключевые факторы успеха или провала программ внедрения. Существенный массив работ посвящён барьерам внедрения BIM (M. Liu, S. Chong, M. Agwa, H. Rani и др.), а также специфике реализации технологии в развивающихся странах и малых и средних предприятиях.

В сфере BIM-образования накоплен значительный опыт интеграции цифровых технологий в архитектурные и инженерные куррикулумы. Исследования Barison & Santos, Bozoglu, Lee & Dossick, Pikas et al., Gu & London, Succar & Sher демонстрируют различные модели встраивания BIM в учебные планы, от отдельных дисциплин до междисциплинарных проектных студий, и подчёркивают необходимость перехода от инструментального обучения к формированию системного понимания жизненного цикла объектов и цифрового взаимодействия участников проекта.

В контексте Казахстана и стран постсоветского пространства проведён ряд исследований, описывающих первые шаги по внедрению BIM, нормативные инициативы и возникающие барьеры. Можно выделить работы, посвящённые оценке препятствий внедрению BIM в Казахстане, исследования применения BIM для реконструкции существующей застройки,

материалы КазНИИСА и НПП «Атамекен», а также аналитические обзоры по цифровизации строительства и распространению BIM-практик в регионе. Существенный вклад в осмысление проблематики цифровизации в СНГ внесли российские авторы (В. В. Талапов, И. Усов и др.), чьи исследования отражают сходные институциональные и нормативные вызовы.

При этом для Казахстана до настоящего времени отсутствовало комплексное архитектурно-ориентированное исследование, которое одновременно охватывало бы международный опыт, национальную стратегию внедрения BIM, специфику архитектурно-строительной отрасли и состояние образовательной среды, рассматривая их как взаимосвязанные элементы единой парадигмы.

Научная новизна настоящего исследования заключается в формировании целостного подхода к осмыслению и совершенствованию процессов внедрения BIM в архитектурно-строительной отрасли Казахстана, учитывающего архитектурно-пространственную специфику и образовательное измерение.

Во-первых, на основе широкого круга международных и отечественных источников систематизированы и критически проанализированы современные подходы к пониманию BIM как инструмента цифровой трансформации архитектурно-строительной отрасли. BIM интерпретируется не только как технология проектирования, но и как многоуровневая система управления информацией о здании и городской среде, включающая цифровые двойники, nD-моделирование и интеграцию с системами устойчивого развития.

Во-вторых, впервые в казахстанском контексте выполнен структурированный критический анализ государственной стратегии внедрения BIM с учётом нормативных, институциональных и образовательных факторов. Показано, что ограниченная результативность программы связана не только с техническими и организационными барьерами, но и с архитектурно-отраслевой спецификой, особенностями регионального рынка и несформированностью устойчивых каналов взаимодействия между государством, профессиональным сообществом и вузами.

В-третьих, раскрыта системная роль архитектурно-строительного образования как ключевого звена в цепочке внедрения BIM. На основе анализа международного опыта и казахстанской практики предложена модель интеграции BIM-компетенций в образовательные программы, ориентированная на проектно-ориентированное обучение, использование цифровых двойников кампуса и междисциплинарные студии, связывающие архитектурное проектирование, конструкции, инженерные системы и эксплуатацию.

В-четвёртых, научная новизна выражается в разработке и апробации комплекса прикладных решений для Казахстана: магистерской программы по BIM, авторского учебного пособия и дисциплины «Основы BIM», а также пилотного проекта цифрового двойника кампуса Satbayev University. Эти

разработки вводятся в научный оборот впервые и демонстрируют, как архитектурный вуз может выступать катализатором цифровой трансформации отрасли, соединяя образовательные, исследовательские и практические задачи.

6. Теоретическая и практическая значимость исследования

Теоретическая значимость диссертации заключается в расширении представлений об архитектурно-строительной отрасли как объекте цифровой трансформации. В работе уточняется понятийный аппарат, предлагается междисциплинарный подход к трактовке BIM как части более широкой архитектурно-градостроительной системы, в которой информационные модели становятся основой для принятия решений на стадиях проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции. Исследование вносит вклад в развитие теории цифровизации строительства в странах с переходной экономикой, уточняет классификацию барьеров и факторов успеха при внедрении BIM, а также формулирует архитектурно-ориентированную модель взаимоотношений между государственной политикой, рыночными акторами и образовательной сферой.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования её результатов при корректировке национальной стратегии внедрения BIM и развитии нормативно-методической базы в Казахстане. Предложенные рекомендации могут быть применены органами государственного управления, профессиональными ассоциациями и отраслевыми компаниями при формировании требований к информационным моделям, среды общих данных, профессиональным стандартам и системе подготовки и переподготовки кадров. Авторские образовательные продукты – магистерская программа, учебное пособие и курс «Основы BIM» – уже внедрены в Satbayev University и могут служить моделью для других вузов и центров повышения квалификации, ориентированных на подготовку специалистов, способных проектировать и управлять архитектурными объектами в цифровой среде.

Отдельную практическую ценность представляет опыт разработки цифрового двойника кампуса университета как тестовой площадки для отработки BIM-подходов к управлению сложным архитектурным комплексом. Этот опыт может быть использован при создании аналогичных решений в рамках программ «цифровой университет», «умный город» и развития цифровых моделей общественных зданий и инфраструктурных объектов.

7. Методы исследования

Методологическая основа исследования опирается на сочетание теоретических и эмпирических методов, соответствующее междисциплинарному характеру темы и необходимости учёта как архитектурных, так и организационно-институциональных аспектов. Использовались системный и сравнительный анализ для изучения международного опыта внедрения BIM и сопоставления различных национальных моделей; контент-анализ нормативных документов, стратегий,

профессиональных стандартов и образовательных программ; историко-логический подход при рассмотрении эволюции цифровых технологий в архитектурно-строительной отрасли.

Эмпирическая часть исследования основана на экспертных опросах и интервью с представителями архитектурно-строительных компаний, образовательных учреждений и государственных структур, а также на обобщении практики пилотных проектов, включая создание цифрового двойника кампуса и разработку образовательных программ. Методы моделирования и проектирования применялись при разработке магистерской программы и курса «Основы BIM», а также при формировании концепции «умного кампуса» Satbayev University.

8. Аprobация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования апробированы в публикациях автора в республиканских и международных научных изданиях, а также представлены на профильных конференциях. Основные положения работы отражены в статьях, посвящённых анализу национального опыта внедрения BIM, разработке магистерской программы по информационному моделированию зданий на основе профессиональных стандартов, использованию BIM для управления инфраструктурой университета и историко-теоретическому анализу эволюции автоматизации архитектурно-строительного проектирования.

Результаты исследования были представлены на международных конференциях, включая EC3 Conference 2022 и научные форумы по вопросам цифровизации городского планирования, что обеспечило их обсуждение в международном экспертном сообществе. Авторские разработки нашли отражение в образовательной практике Satbayev University: учебное пособие по дисциплине «Основы BIM» утверждено методическим советом и используется в учебном процессе, курс «Основы BIM» преподаётся студентам бакалавриата и магистратуры по направлениям архитектуры, строительства и цифровых технологий, разработана и пилотируется новая магистерская траектория, ориентированная на комплексные BIM-компетенции.

9. Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы и представлен обзор апробации результатов.

В первой главе рассматриваются теоретико-методологические основы BIM: исторический контекст развития автоматизации в архитектурном проектировании, концептуальные подходы к пониманию BIM и его структурных компонентов, а также примеры применения технологии в проектах жилых и общественных зданий.

Вторая глава посвящена анализу процессов внедрения BIM на государственном уровне: раскрываются предпосылки цифровизации строительства, анализируются зарубежные стратегии и национальные кейсы, проводится сопоставление с казахстанским опытом и выявляются причины ограниченной эффективности реализованной программы.

В третьей главе сформулированы авторские предложения и рекомендации по совершенствованию процесса внедрения BIM в архитектурно-строительной отрасли Казахстана. Рассматриваются меры по корректировке стратегических и организационных подходов, развитию BIM-образования и реализации пилотных проектов, включая создание цифрового двойника кампуса Satbayev University как примера практической реализации предложенной модели.

ГЛАВА 1. МИРОВОЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ BIM ТЕХНОЛОГИЙ В АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ

Эволюция любой сферы человеческой деятельности всегда сопровождается развитием инструментов, с помощью которых она осуществляется. Это утверждение также справедливо и для архитектуры. Но если история архитектуры иллюстрируется множеством стилей и впечатляющих изменений в формообразовании, функциональном содержании, конструкциях, то со времен античности и до 20-го столетия инструменты, использовавшиеся для проектирования претерпели не так много преобразований. Среди них можно выделить изобретение сначала обычного (600 г н.э.) а затем металлического (1803 г.) пера, бумаги (105 г. н.э.) и её машинного производства (1806 г.) а также «кульмана» (1850-е). Сам же технический процесс работы архитектора над проектом оставался по сути своей неизменным и состоял в нанесении на лист чертежей и изображений вручную с помощью тех или иных письменных и чертёжных инструментов [1].

20-й век, начало которого ознаменовалось началом развития системы поточной организации производства, оказался тем периодом, когда появились технологии, позволившие оптимизировать и автоматизировать также и некоторые процессы в работе архитектора. Предпосылками для этого стали как общее убеждение в безграничных возможностях машин, в широком смысле этого слова, так и связанное с этим развитие электроники и вычислительных устройств. Две мировые войны создали условия, когда развитие новых технологий было стимулировано зависимостью от них стратегического превосходства тех или иных стран и соответственно значительными ресурсами, которые выделялись ученым.

1.1 Краткий исторический обзор развития автоматизации в архитектурном проектировании

Дальнейшим процессам автоматизации проектирования посвящено достаточно много трудов, в том числе труды таких авторов как Yehuda E. Kalay, Robert Aish, John Gero, Terry W. Knight и Charles M. Eastman освещают развитие автоматизации в сфере строительства на разных ее этапах. В то же время на сегодняшний момент недостаточно работ, раскрывающих этот процесс в исторической перспективе. Для понимания контекста внедрения BIM в данном разделе приводится характеристика процесса развития автоматизации в архитектурном проектировании. Это позволит специалистам и широкому кругу читателей лучше ориентироваться в современной профессиональной среде и понимать существующие тренды как закономерную часть общего процесса, а также предполагать дальнейшие возможности развития.

В данном разделе можно выделить два основных блока – обзор развития компьютерных технологий в рамках автоматизации архитектурно-

строительного проектирования и анализ степени автоматизации в зависимости от их применения.

Обзор осуществлялся на основе анализа литературы и интернет источников. Основными критериями отбора были новизна (оригинальность) исследований или технологий в контексте соответствующего периода времени и их влияние на дальнейшее развитие и степень автоматизации работ.

В исследовании рассмотрены 3 основные направления:

- Развитие аппаратного обеспечения (Hardware)
- Развитие теории и практики программного обеспечения (Software)
- Развитие искусственного интеллекта (Artificial Intelligence)

Для анализа степени автоматизации в качестве основы была использована базовая система оценки [2] (включающая 10 уровней автоматизации процессов. при работе с компьютерными системами. Однако в связи с определенной спецификой проектной деятельности она была существенно переработана.

Говоря о степени автоматизации важно понимать, что любые сложные процессы как правило неоднородны и состоят из различных сценариев, этапов или фаз и действий. Если рассматривать структуру процессов, то по Шеридану, который рассматривал работу автоматизированных систем на примере подводных батискафов [2] однородность операций в большей степени определяется местом в последовательности элементарных действий чем этапом общего процесса (например последовательность и суть операций при различных этапах работы батискафа: погружении, работе на дне, всплытии, принципиально не отличаются и представляют собой в конечном итоге обработку исходных данных и определенное механическое действие аппарата). В проектировании несмотря на разнообразие действий, можно найти аналогичные последовательности как с точки зрения управления так и с точки зрения создания строительного объекта (Таблица 1). В обоих случаях мы видим, что операции представляют собой в большей степени этапы общего процесса – так на этапе предпроектного анализа идет сбор и изучение информации, на этапе концептуального проектирования – творческий поиск идеи и т.д.

Таблица 1. Последовательность этапов выполнения работ

Последовательность операций по Шеридану	Последовательность этапов в управлении процессом создания строительных объектов	Последовательность этапов в процессе реализации строительных объектов
Запрос исходных данных	Переговоры с заказчиком	Предпроектный анализ
Получение исходных	Формулировка	Концептуальное

данных	Технического Задания	предложение
Выбор варианта действия	Предложение вариантов выполнения Технического Задания	Эскизный проект
Утверждение или отклонение выбора	Заключение (или не заключение) договора о выполнении работ	Рабочее проектирование и экспертиза
Выполнение действия	Выполнение работ по договору	Строительство
Информирование о результатах действия	Отчет о проделанной работе, предоставление проектных материалов	Эксплуатация

Поскольку в данном случае нас интересует процесс архитектурного строительного проектирования далее остановимся на нем. С учетом описанных выше особенностей, предлагается следующая адаптация общепринятой в инженерной и информационной области классификации уровней автоматизации проектирования. Она основана на принципах автоматизации и понятиях, широко используемых в области проектирования и разработки систем [3]. (Таблица 2)

Таблица 2. Уровень автоматизации при проектировании

Уровень автоматизации	Степень автоматизации	Краткое описание
Level 1: Человек выполняет все задачи проектирования. Компьютер не используется.	Отсутствует	Проектирование полностью выполняется ручным образом без применения компьютерных технологий.
Level 2: Человек выполняет все задачи проектирования, используя компьютер для документирования и представления результатов.	Низкая	В этом случае компьютер используется в основном для создания документации и представления результатов проектирования, но не участвует в процессе самого проектирования.
Level 3: Человек выполняет основные задачи проектирования, используя компьютер для выполнения некоторых рутинных	Средняя	На этом уровне компьютер помогает архитектору в выполнении рутинных операций, таких как расчеты и создание чертежей, что ускоряет процесс проектирования и повышает точность.

операций.		
Level 4: Компьютер выполняет некоторые проектировочные задачи, человек осуществляет контроль и принимает решения.	Высокая	На этом уровне компьютер активно участвует в процессе проектирования, выполняя некоторые задачи, такие как генерация дизайн-вариантов, анализ данных и оптимизация проектов. Человек остается вовлеченным для контроля, принятия решений и оценки результатов
Level 5: Компьютер полностью автоматизирует процесс проектирования, человек играет роль консультанта и наблюдателя.	Максимальная.	На этом уровне компьютер полностью берет на себя процесс проектирования, принимает решения и генерирует оптимальные решения. Человек выступает в роли консультанта, оценивая результаты и внося рекомендации при необходимости.

Исходя из данной системы проводился анализ и оценка процессов архитектурного проектирования в ходе их изменения под влиянием технологического развития в 20-м и 21-м веках

1.1.2 Развитие аппаратного обеспечения

В данном разделе мы рассмотрим появление устройств, которые сыграли роль в автоматизации архитектурного проектирования. Для удобства они разделены по функциональному типу

Одним из базовых условий взаимодействия человека и компьютера является возможно ввода данных. Для это сегодня используется множество устройств, наиболее распространенные из которых мы здесь рассмотрим. Наиболее простыми и широко используемыми устройствами являются клавиатуры. Они используются для ввода текстовой информации, параметров проекта и команд в программные средства САПР. Первые прототипы клавиатур появились в конце XIX века. В 1874 году Кристофер Шоу разработал первую механическую клавиатуру для своей типографской машины. Не менее важными являются так называемые компьютерные мыши. Они обеспечивают точное управление указателем на экране, что полезно при редактировании и взаимодействии с графическими приложениями. Мышь в качестве устройства ввода была представлена в 1964 году в лаборатории Стэнфордского исследовательского института (SRI) Дугласом Энгелбартом и представляла собой деревянный корпус с двумя колесиками и кнопкой. Кроме того, используются графические планшеты, стилусы, тачскрины и другие манипуляторы, которые позволяют рисовать и вводить графическую информацию, делать эскизы и редактировать чертежи.

Кроме того, надо отметить инструменты для передачи информации о реальных объектах в компьютер. К примеру, лазерные сканеры позволяют

считывать геометрические данные с реальных объектов и импортировать их в программы моделирования. Первый коммерчески успешный лазерный сканер появился в 1984 году и был представлен компанией LaserData. Он использовал лазерное сканирование для считывания геометрической информации с поверхностей объектов. 3D-сканеры используются для создания точных трехмерных моделей объектов и местности. Камеры и фотоаппараты применяются для фиксации фотографий и изображений, которые могут служить исходными данными для проектирования. В последнее время также широкое распространение получили разнообразные датчики, позволяющие получать информацию о физических свойствах среды. Подобные инструменты сегодня позволяют создавать базы данных, на основе которых алгоритмы способны моделировать проектные предложения

Не менее важное значение имеет и вывод информации. Принтеры и плоттеры, первые из которых вошли в широкое употребление в 1960-х годах используются для печати чертежей и документации проекта в форме бумажных копий. Мониторы, полнофункциональные модели которых появились в 1970-х, предоставляют визуальное отображение чертежей, моделей и другой информации, позволяя архитекторам анализировать и взаимодействовать с проектами. Отдельного внимания заслуживают современные технологии виртуальной и дополненной реальности, которые позволяют архитекторам взаимодействовать с виртуальными моделями и сценами, предоставляя более реалистичные и интуитивные возможности просмотра и визуализации проектов. Первые прототипы устройств виртуальной реальности появились в 1960-х годах. В 1968 году Иван Сазерленд и Боб Спрулл создали первый графический интерфейс виртуальной реальности, известный как "Сверхмозг". Первые примеры дополненной реальности появились в 1990-х годах. В 1992 году Марк Борнхольд разработал систему "Virtual Fixtures", которая сочетала виртуальные объекты с реальной средой.

Развитие робототехники позволило создавать устройства для создания физических моделей. Например, 3D-принтеры создают физические модели проектов на основе трехмерных цифровых моделей. Первый 3D-принтер был разработан Чарльзом Халлом в 1984 году. Он использовал процесс, называемый лазерным спеканием, для создания трехмерных моделей из пластичных материалов. Режущие и гравировальные станки используются для создания прототипов и деталей проектов из различных материалов. Сегодня в строительстве существуют и другие системы автоматизированного производства позволяющие создавать строительные объекты без участия человека.

Это лишь некоторые примеры устройств, которые способствуют автоматизации архитектурного проектирования. С развитием технологий и инноваций, список таких устройств и инструментов продолжает расширяться, обеспечивая архитекторам более эффективные и удобные способы работы с проектами.

Но, конечно, основу составляют аппаратные платформы: серверы, настольные и портативные компьютеры обеспечивают вычислительные мощности и хранение данных, необходимые для работы программных средств САПР и ВМ. Развитие вычислительных машин является важной частью истории информационных технологий. Оно простирается на протяжении десятилетий, начиная с появления первых устройств и до современных высокопроизводительных компьютеров. Историю развития вычислительных машин можно разделить на несколько ключевых этапов:

1. Механические вычислительные машины: В конце 19 века появились первые механические устройства, предназначенные для выполнения вычислений. Примером такой машины является аналитический двигатель Чарльза Бэббиджа, разработанный в 1837 году.
2. Электромеханические машины: В 1930-х годах появились первые электромеханические компьютеры, которые использовали электрические сигналы для управления механическими компонентами. Примером таких машин является компьютер Марк I, созданный Говардом Эйкеном и его коллегами в Гарвардском университете.
3. Транзисторные компьютеры: В середине 20 века произошел революционный прорыв с появлением транзисторов, которые заменили электромеханические компоненты. Это позволило создать более компактные и энергоэффективные компьютеры. Одним из знаковых моментов было появление компьютера UNIVAC I в 1951 году.
4. Интегральные схемы: В 1960-х годах разработка интегральных схем привела к уменьшению размеров компьютеров и повышению их производительности. Были созданы мини-компьютеры, предназначенные для использования в бизнесе и научных исследованиях.
5. Микропроцессоры и персональные компьютеры: В 1970-х годах появились микропроцессоры, которые стали основой для создания персональных компьютеров. Это привело к распространению компьютеров в домашней и рабочей среде.
6. Суперкомпьютеры и параллельные вычисления: В последние десятилетия развитие вычислительных машин сосредоточено на создании суперкомпьютеров с высокой вычислительной мощностью. Также активно развиваются параллельные вычисления, которые позволяют использовать несколько процессоров для выполнения задачи одновременно.

Эти этапы развития вычислительных машин представляют прогресс в миниатюризации, увеличении производительности и повышении доступности компьютеров для широкой аудитории. Сегодняшние вычислительные системы продолжают развиваться, применяя новейшие технологии, такие как искусственный интеллект, облачные вычисления и

квантовые вычисления, открывая новые возможности в различных областях, включая автоматизацию архитектурного проектирования.

1.1.2 Развитие теории и практики программного обеспечения

Первыми значительными научными работами, предопределившими компьютеризацию проектирования, стали «Концептуальные основы «усиления» человеческого интеллекта» Дугласа Энгельбарта вышедшая в 1962-м году [4] и «Система графической коммуникации человека и машины: Скетчпад» опубликованная в 1963-м [5]. Эти исследования во многом заложили основы дальнейшего развития как графических возможностей компьютеров, так и автоматизации при работе с их помощью.

Дуглас Энгельбарт в своей работе «Концептуальные основы «усиления» человеческого интеллекта» сформулировал и проиллюстрировал многие из принципиальных возможностей компьютеров, которыми мы пользуемся сегодня. В том числе его исследования коснулись и проектной деятельности архитектора. В работе в частности впервые отражены основные принципы того, что сейчас называется информационным моделированием здания (BIM):

- создание трехмерной модели, элементы которой обладают неграфической (негеометрической) информацией, необходимой для технической документации и расчетов
- компьютерный анализ модели с целью выявления возможных ошибок (коллизий) и оптимизации решений (то, что сейчас принято называть «генеративный дизайн»)
- совместная работа над моделью нескольких специалистов, использование модели клиентом и строителями

Таким образом, именно эту работу можно считать отправной точкой истории технологии BIM, как первого этапа автоматизации в проектировании.

Отдельно можно выделить труды Кристофера Александра «Примечания к синтезу форм», «Орегонский эксперимент» [6; 7] и др., особо отмеченные в работе Раппапорта А.Г. «К пониманию архитектурной формы» [8]. Кристофер обращается к самому творческому методу архитектора, предпринимает попытку синтезировать это решение на основе логических связей, используя компьютер, как инструмент для анализа определенной базы компонентов, выбора и компоновки их в целостное решение. И если BIM касается в основном автоматизации рутинных операций, анализа, расчетов и других процессов, то теории Кристофера описывают перспективы следующего шага, когда до определенной степени (автор не отрицает важности архитектора, как творца, чья интуиция играет определяющую роль в формировании проекта) автоматизирован будет сам процесс принятия решений. Сегодня мы можем наблюдать первые признаки реализации идей Кристофера в виде «параметрического моделирования», где процесс формообразования соподчинен заложенным объективным или субъективным параметрам.

Первой же книгой, затронувшей непосредственно проблемы архитектурного проектирования с точки зрения использования компьютера, была «Компьютерное Архитектурное Проектирование» Джона Митчелла, в книге демонстрировались уже не только технические, но и визуально-графические возможности ЭВМ, в частности цветная, тонированная 3-х мерная графика, к тому моменту находившаяся на начальном этапе развития, но уже позволявшая выполнять достаточно сложные формы [9].

Система описания элементов здания, выполненная в виде базы данных, связанной с этими элементами (BDS - Building Description System) была впервые реализована Чарльзом Истманом [10; 11] (который до сих пор считается одним из наиболее авторитетных экспертов в BIM). Именно возможность автоматически обрабатывать эти негеометрические сведения для формирования смет, спецификаций, расчетов и другой проектной документации определила будущее превосходство систем автоматического проектирования над традиционным – ручным способом ведения проектных работ. Предполагается, что именно трансформации термина Building Description System в применении к различным сферам (Building Product Models, Product Information Models) в итоге дало современную формулировку Building Information Model [12].

Более сложным этапом, ввиду разнообразия возможных задач и сложности аналитических алгоритмов стала реализация компьютерного анализа модели с целью получить рекомендации по её оптимизации по тем или иным параметрам. Если у Энгельбарта описывается возможность отслеживания, к примеру, солнечных лучей и потоков людей в здании, то на практике программная система RUCAPS, разработанная компанией GMW Computers в 1986 году, анализировала графики производства строительных работ и давала советы по их оптимизации при строительстве третьего терминала аэропорта Хитроу [13].

Однако, несмотря на то, что к концу 80-х BIM как технология уже обрела свои основные современные черты и возможности, её широкое использование требовало подготовительного периода. Помимо необходимости дорогостоящего оборудования, программного обеспечения и специально обученных сотрудников, стояла проблема общей адаптации специалистов к возможности работать на компьютере. В такой ситуации программы, позволяющие реализовывать BIM, с еще достаточно громоздкими и сложными в эксплуатации интерфейсами, и узкой специализацией не могли приобрести большой популярности. Поэтому в 80-х и 90-х годах развитие технологии шло достаточно медленно, а распространение приобрели так называемые CAD программы (CATIA, Pro/Engineer, Unigraphics, I-DEA, AutoCAD, Bentley's Microstation).

Можно отметить, что системы CAD практически не требовали изменения в традиционной организации проектирования. Фактически они лишь позволяли заменить ручные инструменты на электронные, давая определенные преимущества прежде всего благодаря более надежному хранению и быстрому копированию данных [14]. Вместе с тем к началу 2000-

х они подготовили условия, необходимые для внедрения BIM – повсеместное использование компьютеров в проектировании, компьютерная грамотность и обучаемость специалистов, развитие интерфейсов. Также компании продвигающие свои продукты для реализации BIM во время этого, подготовительного, периода смогли набрать достаточный опыт, и базу практических примеров, чтобы проиллюстрировать эффективность их использования.

Одно из первых комплексных BIM решений, которые получили длительное развитие и функционируют до сих пор - ArchiCAD, был разработан Габором Бояром в Будапеште (Венгрия) в 1982 году (первоначальное название - Radar CH). Столкнувшись с уже описанными выше проблемами в 1980-е – 2000-е годы этот продукт тем не менее продолжал своё постепенное развитие и получил распространение в 2007-2011 годах. Другой лидирующий на современном рынке продукт - Revit, «написал» Леонид Райз, выросший и получивший образование в Санкт-Петербурге уже в 2000 году. Вобрав в себя сформировавшиеся уже на тот момент представления о BIM и попав в подготовленную среду, Revit стал одним из наиболее популярных платформ для BIM.

Однако развитие и применение BIM само по себе не привело к значительным сдвигам в уровне автоматизации. Основная роль этой методики в том, что вся информация о строительном объекте может быть приведена в структурный, хорошо приспособленный для машинной обработки вид. Автоматизация происходила за счет разработки и внедрения разнообразных типовых элементов, шаблонов, алгоритмов, позволяющих минимизировать рутинные операции. Также в большой степени удалось автоматизировать обработку данных – расчеты, анализ, планирование. Интеллектуальная сложность самого процесса проектирования ограничила применение обычных программных средств в замещении участия человека. И только в последние годы началось внедрение технологий позволяющих преодолеть этот барьер.

1.1.3 Развитие искусственного интеллекта

Практически вместе с возникновением первых компьютеров ученые начинают сопоставлять деятельность вычислительных машин и человеческого мозга. Наиболее дальновидные умы в уже в середине 20-го века приходят к выводам о том, что разница не столь велика как может показаться. Одним из основоположников понятия «искусственный интеллект» был А.Тьюринг (в 1950 г.). Он был убежден в возможности создать машину, воспроизводящую мыслительные процессы человека, путем её последовательного обучения [15].

Несколько ранее (в 1943 г.) У. Маккалок и У. Питтс приходят к пониманию того, что работу нейронной сети мозга можно представить в виде логических (а следовательно, математических) процессов [16]. Это определило теоретическую возможность создания искусственного аналога человеческого мозга. Однако, в следствие необходимости больших вычислительных ресурсов и проблем с формированием алгоритмов обучения

долгое время данный принцип уступал традиционным способам программирования.

Нельзя отрицать, того, что на сегодняшний день создано огромное количество различных алгоритмов без использования нейросетей, призванных оптимизировать в том числе процессы, связанные с архитектурным проектированием, однако все они решают очень узкие задачи и замещают выполнение наиболее простых рутинных операций. В течении второй половины 20-го века, развитие теории нейросетей и машинного обучения, а также бурное развитие аппаратных ресурсов сформировали базу для более широкого применения идей об искусственном интеллекте в проектировании

2022-2023 годы стали знаковыми с точки зрения широкого распространения и внедрения нейросетей в качестве основы для искусственного интеллекта. Одной из причин такого всплеска можно считать достижения в области генерации и анализа «естественного языка» [17], позволившие человеку взаимодействовать с компьютерными системами на уровне повседневного диалога, в том числе осуществляя задачи управления, обучения и программирования [18].

Это открыло возможности к формированию нейросетей любого назначения неограниченному кругу пользователей. В короткое время возникло множество нейросетей позволяющих генерировать визуальные изображения (Midjourney, DALL·E, Sora, Blue Willow, Kandinsky 2.1, Playground и др.). В проектировании это направление позволило существенно оптимизировать и в некоторой степени автоматизировать задачи по визуализации – архитектурных решений.



Рисунок 1. Изображение, сгенерированное на платформе Sora (промт: High-tech building in Almaty, Kazakhstan, Norman Foster style, beautiful composition, vibrant details, mountains in the background, view from the street, high resolution photorealistic render)

Кроме уже перечисленных ИИ платформ, позволяющих сгенерировать изображение по исходной информации, выраженной в текстовом формате, появились аналогичные специализированные решения позволяющие сформировать варианты дизайна для схематичных проектных материалов (Veras, ArkoAI). Более сложные системы включают в себя не только генеративные механизмы, но и базы данных необходимых при проектировании. Так например, в платформе Archistar содержатся всевозможные картографические сведения об участке такие как примерная стоимость, целевое назначение, расположение инженерных сетей, ограничения застройки, риск подтопления и многие другие. На основе этих данных и запроса пользователя платформа может генерировать варианты концептуальные проектные решения и рассчитывать их технико-экономические показатели, степень аэрации и инсоляции и другие данные (Рис.2). Аналогичными и даже более широкими возможностями обладают такие платформы как Digital Blue Foam, Spacemakers, Cove.tool.

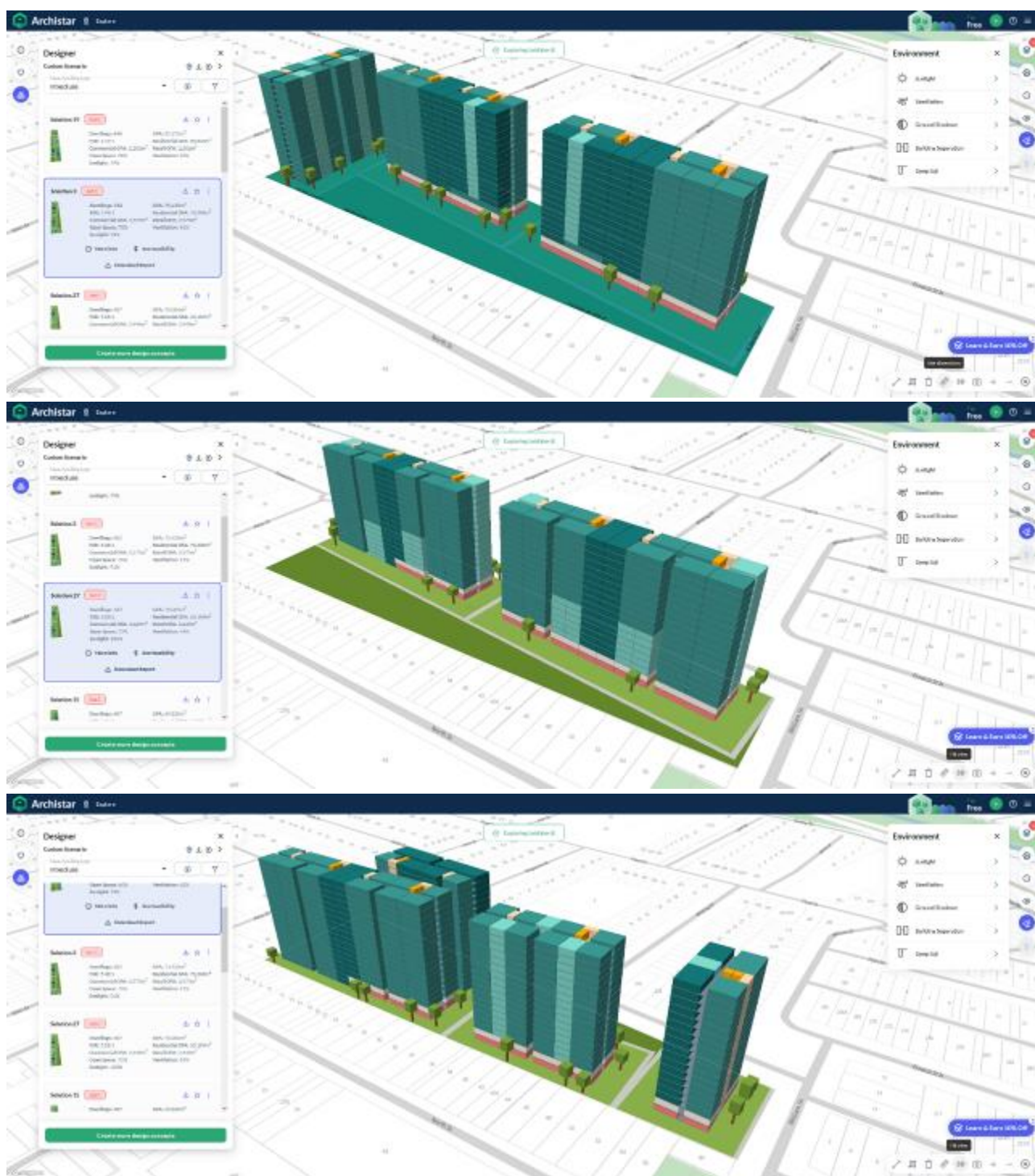


Рисунок 2. Варианты концептуального дизайна застройки выполненных автором с помощью ИИ на платформе Archistar

Таким образом сегодня системы искусственного интеллекта (ИИ) играют значительную роль в автоматизации архитектурного проектирования. ИИ-технологии позволяют архитекторам и проектировщикам решать сложные задачи, оптимизировать процессы и повышать эффективность работы. Вот несколько областей, где ИИ находит применение:

1. Генерация дизайн-вариантов: Системы ИИ могут использоваться для генерации различных дизайн-вариантов на основе заданных критериев и требований. Это помогает архитекторам исследовать широкий спектр возможных решений и выбирать наиболее оптимальные.
2. Анализ данных и оптимизация: ИИ может использоваться для анализа больших объемов данных, таких как геометрическая информация, климатические данные, сведения об использовании здания и др. С помощью алгоритмов машинного обучения и статистического анализа ИИ может выявлять оптимальные решения и предлагать улучшения для проекта.
3. Распознавание и классификация: Системы ИИ могут быть обучены распознавать и классифицировать элементы в проекте, такие как материалы, текстуры, элементы интерьера и экстерьера. Это упрощает процесс аннотирования и организации информации о здании.
4. Автоматизация чертежей и документации: ИИ-технологии могут использоваться для автоматизации создания чертежей и документации на основе трехмерных моделей. Это позволяет сократить время и усилия, затрачиваемые на рутинные задачи, и повысить точность и согласованность документации.
5. Предиктивный анализ и симуляции: Системы ИИ могут проводить предиктивный анализ и симуляции для оценки производительности и поведения здания в различных условиях. Например, они могут предсказывать энергетическую эффективность, комфортность, освещение и другие параметры, что помогает архитекторам принимать информированные решения.

ИИ-технологии продолжают развиваться, и их вклад в автоматизацию архитектурного проектирования становится все более значимым, помогая сократить время, улучшить качество и оптимизировать процессы проектирования.

1.1.4 Оценка степени автоматизации архитектурно-строительного проектирования

Автоматизация архитектурного проектирования является важной составляющей развития современной архитектуры. На протяжении десятилетий процессы проектирования прошли значительную эволюцию, от ручного черчения и вычислений до полностью компьютеризованных и интеллектуальных систем поддержки проектирования.

При рассмотрении исторических этапов автоматизации архитектурного проектирования можно выделить несколько основных периодов, где различные технологии и инструменты внесли существенный вклад в автоматизацию процесса проектирования. Важно отметить, что эти этапы не являются строго отделенными, а скорее представляют эволюцию автоматизации в различные временные периоды. (Таблица 3) Каждый из этих этапов внес существенный вклад в автоматизацию архитектурного проектирования

Таблица 3. Технологические этапы развития автоматизации в проектировании

Краткая характеристика и временной период	Достижения:	Примеры автоматизации
Этап компьютеризации и систем компьютерно-поддерживаемого проектирования (1960-е - 1980-е годы)	Внедрение компьютеров в архитектурную практику и развитие систем компьютерно-поддерживаемого проектирования (САПР) изменили процессы проектирования, позволив сократить время, улучшить точность и облегчить рутинные вычисления.	Замена ручного черчения компьютерным проектированием, автоматизация расчетов и анализов, создание и редактирование чертежей и моделей.
Этап системы управления информацией о зданиях (BIM) (2000-е годы и далее)	Внедрение системы управления информацией о зданиях (BIM) стало прорывом в автоматизации архитектурного проектирования. BIM позволяет создавать цифровые модели зданий с подробной информацией о компонентах и свойствах, улучшает координацию и взаимодействие между различными дисциплинами.	Централизованное хранение и обмен информацией о зданиях, автоматизированное создание чертежей и документации, проведение коллизионных анализов, анализ энергетической эффективности, виртуальные прогулки по проекту.
Этап внедрения искусственного интеллекта (ИИ) (2022 и далее)	Внедрение искусственного интеллекта в архитектурное проектирование позволяет использовать алгоритмы машинного обучения и анализа данных для генерации дизайн-вариантов, анализа данных и оптимизации проектов.	Генерация дизайн-вариантов, анализ больших объемов данных, оптимизация параметров проекта, предиктивный анализ

Далее в Таблице 4 представлена оценка уровня автоматизации на каждом из рассмотренных исторических этапов для различных этапов проектирования

Таблица 4. Оценка автоматизации в проектировании на разных стадиях проектирования в зависимости от технологического этапа

	Традиционное проектирование	CAD	BIM	BIM+ИИ
Предпроектный анализ	Level 1	Level 1	Level 2	Level 3
Концептуальное предложение	Level 1	Level 2	Level 2-3	Level 3
Эскизный проект	Level 1	Level 2	Level 2	Level 3
Рабочее проектирование	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3

Каждый из рассмотренных этапов привнес значительные изменения в процесс архитектурного проектирования, улучшая его эффективность, точность и возможности сотрудничества. На текущий момент мы находимся на среднем - 3-м уровне автоматизации, где компьютер уже значительно участвует в процессе проектирования, выполняя рутинные задачи и предоставляя архитектору более точные инструменты и данные для принятия решений. Однако даже на этом уровне пока существуют много проблем с точностью, корректностью и универсальностью автоматизированных систем. Более высокая автоматизация пока остается вызовом и требует дальнейших научных и технологических прорывов.

В результате анализа основных технологических и теоретических достижений в области автоматизации архитектурного проектирования, можно заключить, что эти инновации существенно изменили и улучшили процессы проектирования. Компьютеризация, развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) и строительной информационной моделирования (BIM) позволили архитекторам и дизайнерам более эффективно работать с данными, улучшать точность и скорость проектирования, а также обеспечивать более эффективное взаимодействие между различными участниками проекта. Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в автоматизацию архитектурного проектирования открывает новые возможности для генерации дизайнов, оптимизации проектов и принятия решений на основе анализа больших объемов данных.

Однако, несмотря на значительные достижения, мы все еще находимся на пути к полной автоматизации архитектурного проектирования. Будущее автоматизации связано с разработкой более продвинутых инструментов и алгоритмов ИИ, а также с интеграцией различных технологий для создания более интеллектуальных и устойчивых архитектурных решений. Использование автоматизации в архитектурном проектировании является

неотъемлемой частью современной практики и будет продолжать эволюционировать, улучшая процессы и возможности для архитекторов и дизайнеров. Это предоставляет широкий спектр преимуществ, от повышенной эффективности до более точных и инновационных архитектурных решений.

1.2 Суть BIM технологии и её основные составляющие

Как уже было описано в предыдущем разделе BIM технологии стали важным этапом автоматизации инженерной деятельности. Для дальнейшего исследования процесса внедрения этой технологии необходимо определить её свойства и содержание. Далее будут кратко рассмотрены общие представления о понятиях и свойствах BIM.

Building Information Modeling (BIM) – это современный подход к управлению информацией о здании или сооружении на протяжении всего его жизненного цикла. BIM подразумевает коллективный процесс создания и использования интегрированной цифровой модели здания, содержащей все данные о конструкции, отделке, инженерных системах, стоимости, сроках и других аспектах проекта на всех этапах жизненного цикла. Такая информационная модель используется всеми участниками проекта – от архитекторов и инженеров до подрядчиков, эксплуатирующих организаций и владельцев – для совместной работы и принятия решений на основе актуальных данных. Отдельно отметим, что BIM следует рассматривать не просто как набор программного обеспечения или трёхмерную модель, а как процесс или даже метод организации и управления цифровыми данными.

1.2.1 Базовые понятия: информационная модель, уровень зрелости, LOD

Информационная модель здания (Building Information Model) – центральное понятие BIM. Это цифровая модель, объединяющая геометрические данные (3D-представление объекта) и негеометрические сведения (свойства материалов, спецификации оборудования, графики работ, стоимость и т.д.). Информационная модель служит единым источником правды (single source of truth) для проекта: все планы, разрезы, спецификации автоматически извлекаются из неё, обеспечивая согласованность документации. Внесение изменений в модель немедленно отражается на всех чертежах, что резко снижает количество ошибок и несоответствий. Кроме того, данные из модели могут быть использованы для расчетов и симуляций (например, теплотехнического анализа, моделирования строительства), а после завершения строительства – переданы эксплуатанту для управления объектом.

При этом надо понимать, что такая модель может быть создана с разными целями, в разных условиях и соответственно обладать разным набором информации. Цель использования BIM – «BIM uses» определяется на самых ранних стадиях и определяет все дальнейшие процессы. Каждый «BIM use» соответствует определённой задаче, для которой формируется

цифровая модель, наполненная релевантной информацией и структурированной по заранее определённым стандартам.

Наиболее распространённые BIM uses включают трёхмерное моделирование архитектурных, инженерных и конструктивных решений, координацию и обнаружение коллизий, количественные подсчёты, разработку строительных графиков (4D-моделирование), оценку стоимости (5D), управление строительством и техническую эксплуатацию (FM). Также используются модели для анализа энергоэффективности, акустики, инсоляции и других параметров, влияющих на устойчивость и качество среды. Развитие цифровых технологий расширяет спектр BIM uses, включая сценарии управления безопасностью, планирования реконструкции, анализа жизненного цикла, управления активами и обучения персонала.

Выбор и формализация BIM uses осуществляется на этапе формирования информационных требований заказчика (EIR) и отражается в плане реализации BIM (BER), что позволяет установить чёткие цели, метрики и способы интеграции цифровой модели в процессы проектирования, строительства и эксплуатации объекта.

Одна из значимых идей в BIM – единая информационная среда проекта, где каждый элемент здания представлен объектом (элементом, семейством) с набором атрибутов (например, стена с информацией о материале, толщине, стоимости, производителе и т.д.). В отличие от традиционного CAD-подхода, ограничивающегося плоскими чертежами, BIM-модель несёт в себе многомерную информацию: помимо геометрии (3D) она может включать временные параметры, сметные данные, эксплуатационные характеристики и многое другое. Это позволяет выполнять автоматические проверки, анализировать варианты проектных решений и интегрировать данные различных дисциплин в единой модели.

Важно понимать, что на практике не всегда удастся использовать все возможности этой технологии. В зависимости от условий и возможностей используют более или менее продвинутые методы и инструменты. Первые попытки систематизировать внедрение технологий информационного моделирования появились в Великобритании в середине 2000-х годов, когда требовалось объяснить заказчикам и проектировщикам, что значит «работать по-BIM» и как постепенно перейти от традиционного 2D-проектирования к полноценной совместной работе в цифровой среде. Именно в этот контекст вписывается диаграмма Бью–Ричардса (Bew–Richards), предложенная в 2008 году [19]. Она описывала четыре уровня (0–3), отражающих технологическую зрелость: от разрозненных 2D-чертежей (уровень 0) до полностью интегрированного BIM с единой моделью и облачными сервисами (уровень 3). Эта модель была удобна своей наглядностью и стала основой государственных BIM-требований в Великобритании (в том числе мандата на уровень 2 с 2016 года). Однако со временем её признали излишне линейной и технологически ориентированной: она не учитывала управленческие, организационные и культурные аспекты внедрения BIM.

В 2010-е годы акцент постепенно сместился от оценки «наличия технологий» к оценке зрелости процессов. Одним из первых комплексных подходов стала система BIM Maturity Index (Bilal Succar), разработанная в рамках BIMe Initiative [20]. Она описывает не только технический уровень, но и способность организации или проекта управлять BIM-процессами, интегрировать их в общую стратегию и совершенствовать на основе обратной связи. Пятиуровневая шкала (от Initial до Optimized) предполагает, что зрелость повышается не скачками, а в результате системного развития стандартов, процедур, интеграции между участниками и постоянного улучшения процессов. Такой подход позволил соединить технологическую, процессную и организационную составляющие BIM, сделав модель применимой в разных странах и типах проектов.

Следующий этап развития связан с принятием международных стандартов ISO 19650 (2018 г.) [21], которые перенесли акцент на управление информацией в целом, а не только на BIM-модели. Этот стандарт рассматривает BIM как часть более широкой экосистемы цифровых данных, охватывающей весь жизненный цикл объекта. Появился термин «зрелость процессов управления информацией», который отражает способность команды или организации формулировать информационные требования (EIR), планировать и реализовывать их (BEP), работать в единой среде данных (CDE), обеспечивать качество, трассируемость и межплатформенную совместимость информации. Оценка зрелости в этой системе чаще всего проводится не по жёсткой лестнице уровней, а с помощью многофакторных матриц, где анализируются политика, процессы, технологии и компетенции персонала. Краткое описание трех основных систем оценки уровня зрелости BIM приведены в Таблице 5.

Таблица 5. Уровни зрелости BIM

Система	Уровни / категории	Краткое описание
Bew–Richards BIM Maturity Model (2008)	Level 0 – отсутствие совместной работы	2D-чертежи (бумажные или CAD), без интеграции данных и формализованных процессов.
	Level 1 – управляемый CAD	Частичное использование 3D, стандартизация внутри организации, общие библиотеки; обмен данными в основном через 2D- или простые 3D-модели.
	Level 2 – коллаборативный BIM	Дисциплинарные 3D-модели, обмен через Common Data Environment (CDE), открытые форматы (IFC); обнаружение коллизий, 4D-планирование, 5D-сметы.
	Level 3 – интегрированный BIM (iBIM)	Единая общая модель, доступная всем участникам; полная интеграция процессов, управление через веб-сервисы и стандартизированные форматы.
BIM Maturity Index — Bilal	Ad hoc / Initial	Несистемное применение BIM, низкая координация, отсутствие формализованных процессов.

Succar (2009–2010)	Defined	Определены базовые процессы и стандарты, начата стандартизация данных и инструментов.
	Managed	Системное управление BIM-процессами, измерение показателей, регулярный контроль качества.
	Integrated	Интеграция между дисциплинами и проектными стадиями, расширенное использование данных.
	Optimised	Непрерывное улучшение, автоматизация, аналитика и оптимизация процессов на основе данных.
ISO 19650 — Information Management Maturity	Stage 1 — Initial / Ad hoc	Отсутствие стандартизированного управления информацией; обмен в несогласованных форматах.
	Stage 2 — Repeatable	Определены базовые процедуры управления информацией; применяются выборочно.
	Stage 3 — Defined	Формализованные процессы, задокументированные и применяемые во всех проектах.
	Stage 4 — Managed	Системный контроль, метрики качества данных, интеграция с CDE.
	Stage 5 — Optimising	Постоянное совершенствование процессов, автоматизация, аналитика жизненного цикла.

Таким образом, эволюция систем оценки прошла путь от линейной технологической модели (Bew–Richards), через комплексную модель зрелости BIM-процессов (Succar), к интегрированной оценке зрелости информационного управления (ISO 19650), которая охватывает BIM как один из инструментов, но не ограничивается им. Это отражает общий тренд цифровой трансформации строительства: от внедрения отдельной технологии — к формированию устойчивой, управляемой и оптимизируемой информационной среды.

Также важно понимать, что в зависимости от задач точность модели и её насыщение разнообразной информацией может отличаться. Для обозначения этих отличий используется «Уровень детализации/проработки» (LOD – Level of Development) – еще один базовый термин BIM, означающий степень детализации информации об объекте на разных стадиях проекта. В практике широко применяются градации LOD 100, 200, 300, 350, 400, 500 [22]. Например, LOD 100 соответствует концептуальной модели (условные объёмы без точной геометрии), LOD 200 – укрупнённой модели с приблизительными формами и размерами, LOD 300 – информационной модели, где каждый элемент спроектирован с точными параметрами, пригодными для строительства, LOD 400 – модель с детализацией для изготовления и монтажа, LOD 500 – фактическая исполнительная модель (as-built), отражающая построенный объект вплоть до серийных номеров оборудования. Уровни LOD регламентируются стандартами (например, спецификация LOD от BIMForum/US) и четко определяют, какую информацию должен содержать элемент модели на том или ином этапе. Это

важно для распределения ответственности между участниками: кто, когда и до какой степени подробности разрабатывает модель. Концепция LOD тесно связана с информационными требованиями заказчика (о них ниже) – именно через указание требуемого LOD для разных элементов формируются ожидания к результатам BIM-моделирования на каждой стадии.

1.2.2 Компоненты и инструменты BIM-процесса

Для успешной реализации BIM-подхода необходимы определённые организационные компоненты и стандартизованные инструменты, обеспечивающие согласованность работы участников. К основным из них относятся информационные требования заказчика, среда общих данных, системы классификации, стандарты и регламенты, а также программные платформы экосистемы BIM.

Информационные требования заказчика (EIR – Employer's Information Requirements) – документ, в котором заказчик формулирует свои ожидания к информационным моделям и процессам BIM в проекте. EIR впервые был введён в британском стандарте PAS 1192-2:2013 и ныне имплементирован в ISO 19650 (термин Exchange Information Requirements в международной версии) [21]. В EIR заказчик указывает, какие модели и данные он хочет получить на разных стадиях, с каким уровнем детализации (LOD), в каких форматах, для каких целей (например, для последующей эксплуатации или передачи в госэкспертизу). Туда же включаются требования к процессам: частота выдачи моделей, процедуры проверки, роли участников (например, назначение BIM-координатора). EIR становится частью контракта: проектные организации, претендуя на тендер, должны учесть эти требования и в ответ готовят План выполнения BIM-проекта (BEP – BIM Execution Plan), где описывают, как они обеспечат выполнение EIR. Таким образом, информационные требования заказчика – стартовая точка BIM-проекта, определяющая *что* должно быть смоделировано и *как* будет структурироваться информация. Чётко прописанный EIR гарантирует, что в конце проекта заказчик получит необходимый ему набор цифровых данных (например, исполнительную модель здания, интегрированную с системой управления предприятием). В Казахстане и России практика составления EIR только начинает распространяться, однако на крупных проектах (особенно с участием зарубежных консультантов) уже задаются подобные требования, чтобы скоординировать работу всех участников в BIM-среде.

Среда общих данных (CDE – Common Data Environment) – центральное хранилище и система управления проектными данными при BIM-подходе. Согласно ISO 19650, CDE определяется как «согласованный источник информации для данного проекта, используемый для сбора, управления и распространения каждого информационного контейнера через управляемый процесс». Практически, CDE – это облачная платформа или сервер, где хранятся все модели, чертежи, отчеты, графики и прочие документы проекта

в актуальной версии. В CDE реализуются *настройки доступа и прав*: каждый участник видит нужную ему информацию, внесение изменений контролируется, сохраняется история версий и т.д.. Принцип единой точки хранения устраняет проблему рассогласованных данных – все пользуются одной актуальной моделью. Более того, CDE поддерживает рабочий процесс общекомандной работы: например, архитекторы выкладывают модель в общую среду, конструктора получают к ней доступ для связывания со своими разделами, выявления коллизий, и т.д., при этом все действия протоколируются. Типичные реализации CDE – это облачные BIM-платформы (Autodesk BIM 360/ACC, Bentley ProjectWise, Trimble Connect и пр.). Функционирование CDE критически важно для BIM-проекта: без общей среды теряется весь эффект от BIM, поскольку информация расползается по разным каналам. Поэтому создание и администрирование CDE – одна из задач BIM-менеджера в проекте. В целом, CDE обеспечивает коллаборацию и служит *единой правдой* о проекте, устраняя дублирование и несовместимость данных.

Классификаторы – системы кодирования и группировки информации о строительных объектах, применяемые в BIM для структурирования данных. Использование классификаторов не является изобретением BIM – они существовали и раньше (например, советские сметные нормативы, международный MasterFormat и др.). Однако в контексте BIM роль классификации существенно возрастает, так как большие объёмы информации должны быть однозначно идентифицируемы и сопоставимы. Каждый элемент BIM-модели может иметь ссылки на позиции классификатора: тип элемента, его функциональное назначение, строительные работы и т.д. Например, в международной практике широко используется OmniClass или UniClass 2015 – многоуровневые системы классификации, покрывающие различные разрезы информации (таблицы типов элементов, пространств, фаз, строительных ресурсов и пр.). В Казахстане ведутся работы по созданию национальных классификаторов строительной информации. Применение классификаторов приносит *конкретные выгоды*: так, заказчик может легко группировать данные о проекте для анализа затрат и объемов работ, если все элементы модели промаркированы по единой системе. Классификаторы позволяют автоматизировать составление спецификаций, распределять модель по видам работ, генерировать сметы напрямую из модели, а также обеспечивают связь BIM с другими ИТ-системами (ERP, ГИС и др.). Стандарты openBIM предусматривают и классификацию как часть данных: например, ISO 12006-2 определяет общие принципы создания классификаторов, а ISO 81346 задает систему обозначений для инженерных систем. В результате BIM-модель + классификатор дают мощный инструмент информационного менеджмента: без классификатора, как образно выразился В. Талапов, «вся схема разваливается» – трудно извлечь пользу из большого объёма данных без их унифицированной структуры [23]. Поэтому включение требований по

классификации (например, по таблицам UniClass) обычно отражается в EIR/BER и является знаком зрелости BIM-проекта.

Стандарты и регламенты BIM – критически важная составляющая, без которой невозможно единообразное внедрение технологии. В последние 10–15 лет разработан ряд национальных и международных стандартов, формирующих нормативную основу информационного моделирования:

ISO 19650 – серия международных стандартов по управлению информацией в строительстве с использованием BIM. Части 1 и 2 (2018 г.) регламентируют общие принципы и процесс управления информацией при проектировании и строительстве, части 3 (2020) и 5 – эксплуатацию и аспекты безопасности. ISO 19650 развивает идеи британских PAS 1192 и содержит требования к назначению ролей (appointing party, lead appointed party, etc.), ведению общей среды (CDE) и составу информационной модели. Для Казахстана и СНГ этот стандарт особенно актуален как ориентир при создании собственных нормативов.

Национальные стандарты BIM. Здесь лидируют Великобритания (упомянутые PAS 1192-2:2013, 3:2014, BS 1192:2007 и др., ныне заменённые ISO 19650), США (NBIMS-US – National BIM Standard US версия 4 выпущена в 2020 г. – содержит глоссарий, обзор стандартов IFC, COBie и т.д.), а также стандарты ряда стран ЕС, Сингапура, Австралии. Однако мировая тенденция – гармонизация стандартов с ISO.

openBIM-стандарты: помимо ISO 16739 (IFC), активно применяются спецификации COBie (Construction-Operations Building information exchange) – формат передачи данных об оборудовании для эксплуатации (приложен к NBIMS-US), BIM Collaboration Format (BCF) для обмена комментариями по модели, IFD/библиотеки объектов (International Framework for Dictionaries – стандарты на словари свойств). Также выпускаются методические стандарты вроде LOD Specification (BIMForum, США) для уровня проработки, Руководство по плану работ RIBA (Великобритания) – увязка BIM-моделей со стадиями проекта и т.п. Большое значение имеют стандарты в части классификации (ISO 12006, OmniClass) и кодирования элементов. В целом, стандартизация охватывает все аспекты BIM: процессы, продукты (модели, чертежи, документы), обмен данными, требования к содержанию модели, роли и ответственность.

Важно отметить, что стандарты BIM продолжают развиваться. Например, Великобритания после достижения Level 2 BIM перешла к программе UK BIM Framework, объединяющей ISO 19650 с национальными руководствами, а в ЕС вводятся положения по общим цифровым объектам (CEN/TC 442). Для практики же каждое предприятие дополнительно разрабатывает внутренние стандарты BIM: регламенты моделирования, наименования слоёв/семейств, шаблоны проектов, требования к выдаче и проверке моделей. Эти локальные регламенты должны не противоречить международным и национальным стандартам.

1.2.3 Программные решения и BIM-экосистема

BIM-технология неразрывно связана с программными средствами, позволяющими реализовать описанные принципы на практике. Современный BIM-софт охватывает широкий спектр задач – от архитектурного 3D-моделирования до расчётов, визуализации, проверки модели и управления строительством. Ниже перечислены наиболее распространенные типы BIM-приложений и платформ, составляющие экосистему проекта:

Платформы авторского BIM-моделирования – используются для создания трёхмерной информационной модели здания. К ним относятся прежде всего Autodesk Revit и Graphisoft Archicad – наиболее популярные в мире решения для архитектурно-строительного проектирования. *Autodesk Revit* де-факто стал индустриальным стандартом для BIM-проектирования: он позволяет создавать 3D-модели архитектуры, конструкций и инженерных систем, совместно работать нескольким специалистам и автоматически выпускать чертежи и спецификации. Revit характеризуется мощной параметрической моделью и поддержкой множества плагинов, однако требует обучения и производительного компьютера. *Graphisoft Archicad* исторически первый коммерческий BIM-продукт (выпускается с 1980-х), популярен среди архитекторов благодаря дружественному интерфейсу и удобству моделирования сложных форм. Archicad широко используется в Европе и поддерживает формат IFC на высоком уровне (компания Graphisoft – один из инициаторов openBIM). Кроме этих лидеров, существуют *Bentley OpenBuildings* (бывш. *AECOSim*) – сильное решение для инфраструктуры и промышленных объектов, *Nemetschek Allplan* – распространён в Германии, *Vectorworks Architect*, *Tekla Architectural* и др. Пользователи могут выбирать инструмент в зависимости от специализации и локальных предпочтений, но межоперабельность между ними достигается через openBIM. В Казахстане и СНГ наибольшее распространение получил Autodesk Revit, на втором месте Archicad.

Специализированные BIM-пакеты для расчётов и моделирования конструкций. Здесь выделяется *Tekla Structures* (компания Trimble) – ведущий инструмент для моделирования металлических и железобетонных конструкций с высокой детализацией. Tekla позволяет создавать LOD 400 модели стальных каркасов, генерировать чертежи КМД, спецификации стальных профилей, закладных и т.п. Этот продукт незаменим для инженеров-конструкторов при разработке сложных и масштабных конструкций: Tekla может обрабатывать очень большие модели без упрощений, обеспечивая точность до болтов и сварных швов.

Другая категория – программы расчёта инженерных систем (например, *DDS-CAD*, *MagiCAD* для ОВиК и ВиК) с возможностью интеграции в BIM-модель. Также BIM-инструменты есть практически во всех САПР для инфраструктуры: Autodesk Civil 3D, InfraWorks для дорожных и гидротехнических объектов, Bentley MicroStation и OpenRoads, программные комплексы для ГИС/ГП (на стыке с BIM) и др. Все эти решения так или иначе умеют обмениваться данными – через IFC или прямые плагины.

Инструменты координации, проверки и агрегации моделей. Одно из главных преимуществ BIM – возможность совмещать модели разных разделов и автоматизированно находить коллизии (пересечения, несоответствия). Для этого применяются программы вроде Autodesk Navisworks и Solibri Model Checker. *Navisworks* – по сути BIM-aggregator: он собирает в одном проекте модели из Revit, Tekla, Civil 3D и др. Он поддерживает десятки форматов, и предоставляет средства обзора, навигации, пометки коллизий. *Navisworks* стал промышленным стандартом для кросс-дисциплинарной координации крупных проектов [24]. Кроме поиска пересечений, в нём есть 4D-моделирование (симуляция строительства во времени) и 5D (модуль для оценки стоимости), что делает его полезным для прорабов и менеджеров проекта. *Solibri Model Checker* – мощное средство проверки качества модели и контроля соответствия заданным правилам. *Solibri* позволяет задать правила (например, минимальные высоты дверных проёмов, расстояния для эвакуации, пересечение зон безопасности) и автоматически проанализировать модель на предмет нарушений. Он незаменим для BIM-менеджеров и экспертов при контроле модели на соответствие стандартам (на Западе *Solibri* активно используют для проверки моделей перед сдачей заказчику или экспертизе). Оба инструмента поддерживают BCF для обмена замечаниями с авторами модели. Сюда же можно отнести и различные BIM-viewers (например, *Trimble Connect*, *Revizto*, *BIMcollab*) – облачные системы совместной работы, где участники просматривают объединённую модель, оставляют комментарии, отслеживают устранение коллизий. Такие системы повышают прозрачность: все в команде видят актуальную сводную модель, что ускоряет выявление проблем и их решение.

Средства визуализации и презентации. BIM-модель сама по себе является богатым источником для визуализации. Для создания фотореалистичных изображений и анимаций часто используются плагины или внешние движки: *Enscape*, *Lumion*, *3ds Max*, *Twinmotion* и др., которые интегрируются с Revit/ArchiCAD. Также развивается направление VR/AR (виртуальной и дополненной реальности) на основе BIM: существуют инструменты для погружения в модель с помощью VR-очков, для совмещения модели с реальным строительством на площадке через AR-приложения. Визуализация напрямую не влияет на информационное содержание, но играет огромную роль в согласованиях и маркетинге – понятная 3D-картинка облегчает диалог с заказчиком и между специалистами.

Прочие инструменты BIM. К экосистеме относятся и программы для смет (5D), планирования (4D), управления объектом (6D) с поддержкой BIM-данных. Например, *Bentley Synchro*, *Navisworks Timeliner* – для 4D-планирования; программные комплексы вроде *Estimator*, *Renga* – для получения смет из модели; платформы FM: *IBM Maximo*, *Autodesk Tandem* и др., где BIM-модель используется в эксплуатации. Отдельно можно отметить *прикладные анализаторы*: расчёт энергоэффективности (*Green Building*

Studio, IES VE, EnergyPlus) – эти программы могут брать геометрию и данные материалов из BIM-модели для оценки устойчивости; системы гендерных или инсоляционных анализов, столкновения техобслуживания и т.д. Также генеративный дизайн (алгоритмическое проектирование) всё чаще интегрируется с BIM: пример – инструмент Dynamo для Revit, позволяющий скриптами создавать сложную геометрию и автоматизировать задачи. Таким образом, BIM-платформы всё больше открываются для кастомизации и дополнения сторонними модулями.

Следует упомянуть и взаимодействие BIM с ГИС. Геоинформационные системы традиционно отвечают за городское и территориальное планирование. Интеграция BIM+GIS позволяет накладывать модели зданий на карту города, учитывать рельеф, инженерные сети и градостроительные ограничения. Крупные вендоры (Autodesk, ESRI) предлагают решения по связке Revit/InfraWorks с ArcGIS. В итоге, данные BIM начинают использоваться на уровне умных городов.

1.2.4 Преимущества и ограничения BIM на разных стадиях цикла

Преимущества BIM для строительной отрасли широко подтверждены исследованиями и практикой. Их можно проследить на всех стадиях жизненного цикла объекта:

На стадии концепции и проектирования: BIM существенно улучшает качество проектных решений и скорость разработки. Благодаря 3D-модели архитекторы и инженеры лучше представляют замысел, могут выявить и устранить ошибки ещё на бумаге, а не на стройплощадке. Визуализация проекта в BIM упрощает согласование с заказчиком – объёмное представление легче воспринимается, чем набор чертежей. Многовариантность: BIM-инструменты позволяют быстро делать «what-if» анализ – сравнивать несколько вариантов планировок, фасадов, конструктивных схем, сразу просчитывая их параметры (площадь, объём материалов, стоимость) [25]. Это стимулирует творческий поиск оптимальных решений. Кроме того, при совместной работе разных разделов в BIM уменьшаются противоречия между ними: архитекторы, конструкторы, инженеры работают в увязке, регулярно обмениваются моделями через CDE, что обеспечивает координацию. Автоматическое обнаружение коллизий (пересечений) в BIM позволяет ещё на этапе проекта исправить несовместимости (например, вентиляционный короб проходит через балку), тогда как раньше такие коллизии часто вскрывались лишь при строительстве. Исследования показывают, что применение BIM сокращает количество изменений и переделок на стройке, связанных с ошибками проекта, на 30–50%. Рост качества проектирования проявляется и в более точных расчётах: из модели легко получить спецификации материалов, отчёты по объёмам работ. Это даёт точный объёмно-финансовый результат: сметы на основе BIM на 3–5% точнее традиционных, снижая риск перерасхода бюджета. Наконец, BIM трансформирует процесс работы архитекторов – рутинные

операции (обновление чертежей, координация изменений) автоматизируются, остаётся больше времени на творческую часть. Поэтому BIM-подход зачастую ускоряет выпуск проектной документации (оценки прироста производительности варьируются, но часто называют экономию ~20–30% времени).

На стадии строительства: BIM принес в стройку такие понятия, как виртуальное строительство и цифровой контроль. 4D-модели помогают оптимизировать календарный план: визуализируя процесс, строители лучше организуют последовательность работ, планируют размещение кранов, поток материалов. В результате сокращаются потери времени – например, ряд проектов фиксировал уменьшение общего срока строительства на 7–10% благодаря применению BIM-сценариев и синхронизации графика с моделью. Clash detection (поиск пересечений) прямо влияет на стройплощадку: если в проектной документации найдены и исправлены коллизии, это предотвращает дорогие исправления «в поле». Статистика McGraw Hill (2013) показала, что более 60% компаний отметили снижение числа конфликтов на стройке при использовании BIM, а 41% – снижение затрат на переделки свыше 5%. Ещё один плюс – прозрачность и управляемость: BIM предоставляет единое актуальное представление о ходе строительства. Существует практика обновлять модель по ходу работ (as-built моделирование), и тогда менеджеры могут сравнивать план и факт (цифровой контроль стройки). Интеграция 5D (стоимости) позволяет вести финансовый контроль: бюджет привязан к модели, и освоение средств отслеживается по готовности объектов модели. Подрядчики отмечают также улучшение коммуникации: BIM-модель становится наглядным пособием для рабочих и субподрядчиков, снижая недопонимание чертежей. К примеру, на сложных объектах выводят 3D-визуализации узлов на экраны в бытовках либо используют AR-шлемы, что уменьшает число ошибок при монтаже. Среди количественных показателей эффектов BIM на стройке часто приводят: снижение общего бюджета на 5–10% (за счёт меньшего числа переделок, оптимизации закупок по точным спецификациям), уменьшение числа запросов на изменение (RFI) на 20–40%, и даже повышение безопасности труда (за счёт точного планирования и визуализации опасных зон) [25]. Конечно, величина выгод варьируется в каждом проекте, но тренд очевиден: BIM позволяет строить с меньшими рисками, быстрее и экономичнее.

На стадии эксплуатации: хотя BIM-применение в эксплуатации пока менее распространено, потенциал здесь огромен. Наличие детализированной информационной модели с атрибутами оборудования, отделки, площадей облегчает переход здания в фазу эксплуатации. Преимущества для facility management (FM): можно настроить системы управления зданием на основе BIM, организовать планово-предупредительный ремонт, управлять помещениями (space management) и энергоресурсами [26]. Например, при оснащении здания датчиками BIM-модель становится базой для цифрового двойника, и управляющая компания в режиме реального времени видит все

системы. Это ведет к снижению эксплуатационных расходов – исследования показывают, что внедрение BIM/FM может сокращать затраты на содержание на 15-17% в год за счёт оптимизации графиков обслуживания и энергоэффективности [27]. Уже сейчас на некоторых сложных объектах (больницы, аэропорты) эксплуатационные службы используют BIM: при поломке оборудования они быстро находят его в модели, видят характеристики, инструкцию, заказывают запчасти – экономя время. Долгосрочные преимущества: BIM продлевает срок службы объекта за счёт лучшего понимания его поведения. Например, анализ данных эксплуатации через цифровой двойник позволяет снизить потребление энергии (случаи – до 20% экономии энергии после оптимизации параметров мониторинга и управления на основе BIM-модели [27; 28]). При реконструкциях и достройках имеющаяся BIM-модель существующего здания резко упрощает работу проектировщиков, снижает стоимость обследований. Наконец, на уровне города BIM-модели зданий могут интегрироваться в городские информационные системы, помогая планировать капитальные ремонты, подключение новых районов, анализировать городской фонд.

Наряду с плюсами, BIM имеет и ограничения/проблемы, которые нужно учитывать при внедрении:

Высокие начальные затраты и требования. Переход на BIM требует инвестиций – дорогостоящее ПО, мощные рабочие станции, обучение персонала [29]. Лицензии на ведущие BIM-программы (Revit, Navisworks и др.) измеряются тысячами долларов в год, а для крупного проекта нужно несколько десятков рабочих мест [30]. Это серьёзное препятствие для маленьких компаний. Кроме того, для работы с BIM-моделями необходимы компьютеры с высокими характеристиками (CPU, RAM, графика), особенно для сложных моделей, что тоже увеличивает затраты. На старте внедрения зачастую наблюдается падение производительности, пока специалисты переучиваются – нужно время, чтобы инвестиции окупились.

Потребность в обучении и кадровые проблемы. BIM внедряет новые процессы, поэтому *все* участники – от главного инженера проекта до исполнителя чертежей и мастера участка – должны пройти обучение принципам BIM. Недостаточно иметь пару продвинутых BIM-координаторов; необходимо, чтобы вся команда понимала, как работать в общем модельном пространстве. Это вызывает организационную сложность и сопротивление изменениям (люди привыкли к Autocad и бумажным схемам, ломка стереотипов требует усилий). Кроме того, на рынке труда ощущается нехватка опытных BIM-менеджеров и моделлеров. Многие компании сталкиваются с тем, что нанять готового BIM-специалиста сложно и дорого; приходится растить внутренние кадры, а это время. Отсюда следует и риск некачественного моделирования – неопытные пользователи могут допустить ошибки в модели, которые потом распространятся на все чертежи [29].

Множество программных платформ и проблема интероперабельности. Как отмечалось, BIM-экосистема включает разные продукты для разных

задач. На практике, участникам приходится осваивать *несколько программ* (например, архитекторы – Revit, сметчики – Navisworks или Estimator, ГИПы просматривают модели через BIM 360, и т.д.). Число инструментов может быть большим, что затрудняет ведение проекта. Кроме того, хотя openBIM и IFC отчасти решают проблему совместимости, на практике обмен по IFC не всегда проходит идеально – возможны потери данных, несоответствия. Интероперабельность остается вызовом: у разных участников могут быть разные версии ПО, поддержка стандартов меняется. Требуется специальная настройка процессов обмена, проверка моделей после экспорта/import. Таким образом, BIM пока не дает возможности безбарьерного взаимодействия участников – нужно тратить усилия на то, чтобы связать данные из разных программных решений друг с другом [31].

Изменение принятого процесса и сопротивление участников. BIM внедряет прозрачность, что хорошо для проекта, но иногда воспринимается негативно индивидуально. Например, в BIM каждый шаг проектирования виден всем (через общую модель), ошибки автора сразу обнаруживаются – психологически не все команды к этому готовы. Строители могут сопротивляться цифровым новшествам на площадке, предпочитая проверенные методы. Руководству компаний приходится проводить изменения культуры, что является нетехническим, но существенным барьером. Также распределение ответственности в BIM отличается: если раньше каждый отвечал за свой чертёж, то теперь модель – коллективный продукт. Возникают юридические вопросы: кто виноват, если ошибка в модели привела к убыткам? Правовая база пока до конца не урегулировала эти аспекты.

Не все задачи легко формализуются в BIM. Сложные архитектурные формы, творческие процессы или уникальные ремесленные технологии могут не вписаться в стандартные BIM-библиотеки. Информационная модель удобна для типовых элементов, но проектировщик может жаловаться, что необычную идею сложно реализовать в рамках, заданных ПО. Также BIM лучше проработан для зданий, чем для, скажем, художественных объектов или ландшафта. Хотя инструменты развиваются, определённая *гибкость* теряется при жёстком следовании BIM-процессу [32].

Ограничения по размеру модели и производительности. Очень большие модели (например, городские районы или сложные промышленные объекты) могут становиться громоздкими. Несмотря на существование методов разбиения на подмодели, связывания по ссылкам, всё же могут возникать технические трудности с обработкой гигантского объёма данных. В таких случаях требуется дополнительное ИТ-администрирование, вплоть до внедрения BIM-серверов, что добавляет сложности [33].

Следует подчеркнуть: многие ограничения преодолимы при правильном подходе. Высокие затраты окупаются повышением эффективности, недостаток экспертизы лечится образованием, проблемы совместимости решаются стандартами. Во многих странах государство стимулирует переход на BIM, поскольку в масштабах отрасли выигрыш

перевешивает затраты. Тем не менее, на этапе внедрения компаниям важно осознавать эти сложности и планировать меры по их минимизации (пилотные проекты, поэтапное обучение, привлечение консультантов, разработка библиотек под свои нужды и т.д.).

1.2.5 Влияние BIM на архитектурное проектирование и управление проектами

Внедрение BIM-технологий привело к значительной трансформации процесса архитектурного проектирования. Можно выделить несколько направлений влияния: изменение методологии работы, новые возможности формообразования, появление новых ролей в проектных командах, необходимость разработки внутренних стандартов и влияние на смежные области (управление проектами, контракты, процессы согласования).

Трансформация процесса проектирования. Традиционная последовательность «эскизы – рабочие чертежи – строительство» с внедрением BIM эволюционировала в более интегрированный и итеративный процесс. Архитекторы теперь с ранних стадий работают в цифровой модели, которая постепенно обогащается деталями и переходит из стадии в стадию. Это привело к сближению этапов: границы между концепцией и рабочим проектом становятся гибче, поскольку уже на стадии концепции модель может содержать значительную информацию (например основные материалы, привязку к участку, физические характеристики), а в рабочей документации из неё же генерируются чертежи. BIM стимулирует практику одновременной разработки (parallel design): разные специалисты параллельно трудятся над своим разделом в общей координированной модели. В результате время на выпуск документации сокращается, а выявление проблем происходит раньше. Кроме того, BIM способствует внедрению принципов Integrated Project Delivery (IPD) – интегрированной поставки проекта, где на ранних стадиях к работе привлекаются строители, эксплуатанты, смежники для совместного принятия решений. Это стало возможным благодаря общей информационной среде: все участники работают как единая команда над моделью, а не по разрозненным чертежам. В архитектурных бюро появилось понятие BIM-дизайн-студия: дизайнеры могут сразу видеть, как их решения влияют на инженерные системы и стоимость, через связанные модели и плагины оценки. Таким образом, процесс стал более управляемым (data-driven) и прозрачным. Снижается доля рутинной работы – построение чертежей, экспликаций теперь автоматизировано, акцент смещается на поиск оптимальных решений и увязку с другими разделами. Архитектор в среде BIM скорее координирует совокупность параметров здания, чем рисует линии на бумаге [34].

Формообразование и творческие возможности. С одной стороны, есть мнение, что BIM может ограничивать архитектурную фантазию шаблонами и

библиотечными элементами. Но с другой – современные BIM-инструменты (особенно с интеграцией параметрического моделирования через Dynamo, Grasshopper и пр.) дают дизайнерам новые мощные средства для эксперимента. Сложные органические формы, свободная геометрия – всё это теперь достижимо в BIM: например, Revit имеет среду Conceptual Massing для произвольных форм и адаптивных компонентов. Появился термин BIM-стиль в архитектуре: здания, спроектированные с учетом возможностей параметризации, оптимизированные по форме (генеративный дизайн подбирает форму, минимизирующую например ветровые нагрузки). Кроме того, BIM интегрируется с визуальными программами (напр. Rhinoceros/Grasshopper) – архитекторы могут генерировать форму алгоритмически, а затем импортировать в BIM-модель для разработки. Таким образом, BIM не отменяет креативность, а переводит ее на новый уровень – цифровое формообразование, где эстетика сразу увязана с техникой [35]. Также BIM позволяет проверять форму на соответствие разным критериям: инсоляции, аэродинамики, обзорности – с помощью подключаемых анализаторов. В результате архитекторы получают обратную связь: можно смоделировать, как здание впишется в городскую среду, как будет смотреться в разное время суток, проверить сценарии эвакуации сложного атриума и т.п. Всё это влияет на качество архитектурных решений – они становятся более обоснованными [36]. Конечно, творческий процесс по-прежнему требует вдохновения, но BIM становится инструментом, помогающим довести смелую идею до реализации.

Новые роли и изменения в команде. В связи с усложнением информационной составляющей проектов возникла потребность в специалистах, ответственных за ведение моделей и координацию данных. Так появились роли BIM-менеджер, BIM-координатор, BIM-моделлер. *BIM-менеджер* – отвечает за стратегию BIM в проекте или организации: разрабатывает ВЕР (план выполнения BIM-проекта), настраивает стандарты, контролирует качество моделей, взаимодействует с заказчиком по информационным требованиям. *BIM-координатор* – более прикладная роль в рамках проекта: следит за совместимостью разделов, проводит clash detection, распределяет задачи моделирования между командой, проверяет соблюдение стандартов моделирования. *BIM-моделлер* (BIM-специалист) – непосредственно создает модель, оформляет информацию в ней. Часто эту роль совмещает сам архитектор или инженер, но в крупных проектах могут быть выделены отдельные моделлеры для рутинной работы, тогда как ведущие специалисты контролируют содержание. Кроме этих основных, появились смежные позиции: *CDE-администратор* (администрирует среду общих данных, права доступа), *BIM-тренер* (обучение персонала), *BIM-консультант* (внедрение BIM-процессов в компании). В строительных фирмах вводятся должности *VDC-менеджер* (Virtual Design & Construction) – по сути BIM-менеджер со стороны генподрядчика, отвечающий за интеграцию моделей субподрядчиков и применение их для стройки. Эти новые роли требуют сочетания ИТ-компетенций, знания предметной области

и управленческих навыков. Возникновение таких позиций отражает изменение структуры команды: иерархия становится более сетевой, где BIM-менеджер наравне с главным инженером проекта влияет на процесс. Во многих компаниях проходят переквалификации: опытных инженеров обучают BIM, или, наоборот, молодых продвинутых IT-специалистов обучают строительному делу, чтобы они заняли роли BIM-координаторов. Общий эффект – формируется поколение специалистов широкого профиля, разбирающихся и в проектировании, и в цифровых технологиях [37]. Это меняет и образовательные стандарты: архитектурно-строительные вузы вводят дисциплины по BIM, требуя от выпускников владения соответствующим ПО и методологией.

Стандарты организации работ и качества. Переход на BIM заставил компании пересмотреть внутренние стандарты и рабочие инструкции. Если раньше достаточно было ГОСТов на оформление чертежей, то теперь нужно регламентировать ведение моделей: как именовать элементы и файлы, как оформлять уровни и оси, какая структура свойств у объектов, как производить обмен моделями между отделами. В крупных бюро разрабатываются собственные BIM-стандарты – по сути, корпоративные дополнения к национальным и международным [38]. Например, прописываются требования к LOD для каждого этапа, шаблоны проектов для Revit с настроенными семействами и стилями, правила использования цветовых обозначений коллизий и т.д. Качество модели стало отдельным направлением контроля: вводится практика Model Audit – регулярной проверки моделей на «здоровье» (отсутствие битых связей, дубликатов, лишних полигонов). Всё это – новая забота для менеджмента. Появляются библиотеки типовых BIM-элементов (семейств) под нужды фирмы, что можно рассматривать как аналог старых альбомов типовых узлов, но в цифровом виде. Также рабочий процесс меняется: раньше инженер мог от руки на поле чертежа что-то дописать, теперь требуется дисциплина внесения изменений – все исправления должны отражаться в модели, иначе расплзётся несоответствие. Таким образом, BIM требует более строгого порядка, но взамен дает уверенность в целостности данных. В совокупности, компании, внедрившие BIM, отмечают улучшение корпоративной культуры проектирования: больше внимания уделяется планированию (на старте нужно продумать информационную стратегию), повышается ответственность за данные, усиливается сотрудничество отделов. Это, конечно, приходит не сразу – иногда первые BIM-проекты сопровождаются кризисами, конфликтами между «новаторами» и консервативными сотрудниками. Но постепенно, по мере накопления стандартов и шаблонов, работа нормализуется и приносит плоды в виде конкурентных преимуществ (быстрее выпуск проекта, меньше ошибок, выше удовлетворенность заказчиков).

Влияние на управление проектами. BIM существенно затрагивает и сферу Project Management в строительстве. Во-первых, за счет интеграции с планированием и сметами BIM предоставляет руководителю проекта *новые*

инструменты контроля. Например, менеджер может в любой момент выгрузить из модели актуальные объемы выполненных работ и сравнить с плановыми, либо пройтись по виртуальной модели и убедиться, что все корректно смоделировано перед строительством – это снижает неопределенность. Во-вторых, BIM способствует переходу к новым формам контрактов. Традиционная модель («проектировщик передает документы – подрядчик строит») эволюционирует: появляется контракт IPD (интегрированная поставка), где все участники и заказчик заключают единое соглашение о сотрудничестве с разделением рисков, при этом BIM-модель является центральным контрактным документом [39]. Такие подходы уже реализуются в США, Европе на передовых проектах. Еще аспект – управление изменениями: с BIM изменения видны прозрачнее, их влияние (через связи в модели) просчитывается быстрее, потому проектные решения принимаются более обоснованно, и управление изменениями облегчено. Вместе с тем, классические методики РМ (например, риск-менеджмент) получают дополнительный инструмент: BIM позволяет провести цифровой анализ рисков (скажем, смоделировать варианты монтажных операций и выявить потенциальные проблемы). Современный РМ в строительстве, не владеющий BIM-инструментами, рискует оказаться неэффективным. Поэтому во многих компаниях руководителей проектов обучают базовым навыкам работы с моделями, а в командах РМ вводят координаторов BIM, чтобы связать управление сроками/бюджетом с цифровой моделью.

В целом, влияние BIM на архитектурно-строительную деятельность можно сравнить с появлением черчения в AutoCAD в 90-е годы, но значительно более глубокое. Изменилась парадигма: от разрозненных документов – к единому информационному пространству проекта. Архитектурные фирмы становятся более технологичными, ближе к ИТ-компаниям в методах работы. Проектирование всё больше опирается на данные, моделирование и аналитику, а не только на опыт и интуицию. При этом возрастает важность стандартизации и обучения – ключевые факторы успеха BIM. Влияние BIM выходит за рамки отдельной компании – оно меняет всю отрасль, заставляя заказчиков, экспертизу, подрядчиков адаптироваться к цифровым процессам.

1.3 Примеры применения BIM в жилых и общественных зданиях (2015–2025)

В период 2015–2025 гг. технология информационного моделирования зданий (BIM) была внедрена во множестве знаковых проектов жилого и общественного назначения по всему миру. BIM позволил архитекторам, инженерам и подрядчикам более тесно сотрудничать, выявлять коллизии на ранних стадиях и оптимизировать строительство, что особенно важно для сложных и архитектурно значимых объектов. В данном обзоре представлены более 20 кейсов применения BIM – от музеев и стадионов до небоскрёбов и исторических сооружений – с указанием их характеристик, способов

использования BIM, применённых инструментов, достигнутых эффектов, а также возникавших проблем. После описания кейсов выполнен сводный анализ наиболее распространённых BIM-применений, подтверждённых выгод и типичных проблем.

Национальный музей Катара, Доха (2019) Назначение и общие сведения: Национальный музей Катара – новый музейный комплекс в Дохе, открытый в 2019 г. по проекту архитектора Жан Нувеля. Здание площадью около 52 000 м² выполнено в виде серии пересекающихся дисков, напоминающих пустынную розу [40]. Высота комплекса – около 40 м (на 5 этажей); сооружение стало одной из культурных достопримечательностей Катара (Рис.3). Заказчиком выступило Управление музеев Катара, генподрядчиком – Hyundai E&C, а инженерную поддержку (особенно по фасадам) обеспечила немецкая фирма Werner Sobek [40; 41].



Рисунок 3. Национальный музей Катара, Доха [41]

Применение BIM: Экстремально сложная геометрия музея потребовала полного перехода к BIM-моделированию. Инженеры разработали гигантскую информационную модель (LOD 400) всех 539 дискообразных элементов фасада и конструкции [40]. Этот единый координационный BIM-модель стала центральным элементом планирования, куда постоянно вносили данные все участники: архитекторы, конструкторы, подрядчики. Совместная работа над моделью позволила выявлять и устранять коллизии между отдельными элементами уникальной структуры на ранних этапах. BIM применялся для

классификации и управления изменениями: в ходе строительства приходилось вносить коррективы, и благодаря модели все изменения оперативно отслеживались и согласовывались. Использовались функции автоматического поиска коллизий и параметрического обновления элементов модели. Примечательно, что для ведения модели применили программное обеспечение от Gehry Technologies, изначально разработанное для сложных форм (Digital Project на базе CATIA). Данный openBIM-подход позволил объединить данные различных дисциплин. За инновационное применение BIM эта работа получила награду BIM Award 2016 [41].

Инструменты: Основу составляла 3D-модель в ПО Gehry Technologies Digital Project (поддерживающая открытый формат данных IFC). Обмен замечаниями в команде осуществлялся через BIM-платформу; для фиксирования коллизий использовали формат BCF. Также упоминается использование традиционных BIM-пакетов для отдельных частей (например, Revit для инженерных сетей). Werner Sobek отметила, что на момент реализации это была одна из крупнейших BIM-моделей в мире по детализации и объёму данных [40].

Эффекты и метрики: Благодаря BIM команда успешно справилась с «неукротимой» геометрией здания [40]. Точность координации позволила избежать множества потенциальных ошибок при стыковке 600 пересекающихся дисков – ни один другой подход не обеспечил бы столь же точного представления формы и сопряжений. По оценке инженеров, без 3D-модели реализовать данный фасад было бы практически невозможно. Кроме того, цифровое прототипирование помогло удержать сроки: несмотря на сложность, музей открыли вовремя в марте 2019 г. (строительство ~8 лет). Количественные показатели эффекта в открытых источниках не раскрыты, но в целом отмечено сокращение числа строительных переделок за счёт обнаружения коллизий на стадии модели [41].

Проблемы и вызовы: Проект столкнулся с нехваткой прецедентов и стандартов – команде фактически пришлось формировать методику “на ходу”. Требовалась высокая BIM-компетенция от всех участников: для Катара, где в те годы BIM только набирал популярность, это было новым вызовом. Дополнительной сложностью были параллельное проектирование и строительство: пока возводились одни части, другие ещё проектировались. Это требовало строгого управления изменениями и непрерывного обновления модели. В частности, отмечается необходимость эффективного менеджмента изменений – при столь динамичном процессе ошибки могли стать фатальными. Тем не менее, опыт музея показал успешность BIM: он стал образцовым кейсом openBIM и интегрированной работы, повысив общую BIM-зрелость отрасли региона [41].

Лувр Абу-Даби, ОАЭ (2017) Общие сведения: Лувр Абу-Даби – художественный музей на о. Саадият (ОАЭ), открытый в ноябре 2017 г. Проект разработан архитектором Жан Нувелем; художественный образ – огромный ажурный купол диаметром 180 м и весом ~7 500 тонн,

укрывающий музейный «город» из 55 белых зданий. Площадь комплекса ~74 000 м², в том числе 23 галереи и др. пространства. Заказчиком выступило Управление туризма и культуры Абу-Даби, генподрядчиком – Arabtec. Музей прославился уникальным куполом, создающим эффект «дождя из света» через узор из 7 850 звездообразных панелей (Рис.4).



Рисунок 4. Лувр Абу-Даби, ОАЭ (2017) [42]

BIM-uses: Проект отличался сочетанием традиционных и цифровых методов. Особую сложность представлял купол со сложным повторяющимся узором, пропускающим свет и воздух. BIM активно применялся для цифрового прототипирования купола: команда BuroHappold создала подробную модель конструкции и провела аналитику освещённости и вентиляции под куполом, чтобы убедить заказчика в работоспособности задумки Нувеля. Алэн Ваха (BuroHappold) отмечает, что столь сложную идею нельзя объяснить на эскизах – требовалось именно цифровое моделирование и симуляция, «чтобы поместить клиента внутрь и показать, как это будет работать». Кроме того, BIM использовался в расчёте и детализовке уникальных 7850 панелей: каждая имела индивидуальную форму и узор. Чтобы отслеживать их изготовление и монтаж, подрядчики внедрили цифровую систему управления поставками. Изначально прогресс пытались контролировать в таблицах Excel, но быстро столкнулись с несоответствиями. Решением стало применение облачной BIM-платформы

Sablono: каждому элементу купола присвоили штрихкод, и рабочие на заводах и стройплощадке сканировали детали по мере изготовления и монтажа. Данные стеклись в единую базу, позволив в реальном времени отслеживать прогресс сборки сложнейшего купола с точностью до отдельной панели. Таким образом, BIM охватил 4D-моделирование строительства и 5D-элементы (учёт объёмов/стоимости): модель интегрировали с планом графика и поставок.

Инструменты: BIM-модель купола и зданий создавалась преимущественно в Autodesk Revit (для архитектуры и инженерных систем) и в специализированных расчетных программах. Для выявления пересечений и координации использовали Navisworks. Симуляции освещенности и микроклимата проводились с помощью плагинов к BIM-модели. Система Sablono, интегрированная с моделью, стала инструментом управления возведением – с её помощью обрабатывались тысячи сообщений о ходе работ. В целом проект сочетал закрытый BIM (внутри одной платформы Revit/Navis) для большинства задач и открытые форматы (XML/база данных) для интеграции мобильного приложения отслеживания [43].

Эффекты: Благодаря BIM и цифровым технологиям команда сумела реализовать «простой в концепции, но сложный в исполнении» проект вовремя и с минимальными накладками. Точные цифровые симуляции подтвердили работоспособность пассивного климатического решения (затенение и естественная вентиляция через узоры купола) – заказчик получил доказательства, что сложный купол действительно даст желаемый эффект света и ветра. В строительстве цифровой мониторинг позволил существенно сократить задержки и ошибки: переход от неэффективных таблиц к BIM-платформе устранил несоответствия данных, повысил точность планирования и избавил от лишних телефонных согласований. В результате монтаж купола прошёл без существенных сбоев, хотя каждую панель требовалось установить строго на своё место. Общая продолжительность строительства (~8 лет) соответствовала плану, а бюджет \$650 млн практически не был превышен. По словам Алэна Ваха, на подобных проектах BIM напрямую способствует успеху: позволяет совместить «грандиозные архитектурные жесты с практическими показателями здания» [43].

Проблемы: Основные вызовы были связаны с новизной подхода. Управление данными 7850 уникальных элементов требовало создания custom-систем – не все подрядчики были изначально готовы к такому. Пришлось обучать персонал работе с мобильным приложением и штрихкодами, преодолевать сопротивление традиционным методам. Кроме того, междисциплинарная координация потребовала высокого уровня доверия между участниками: архитекторы, инженеры, производители стальных конструкций – все работали с единой моделью, что не всегда типично на Ближнем Востоке. Наконец, отмечается отсутствие BIM-нормативов в регионе на момент реализации (стандарты и требования формулировались прямо по ходу проекта). Тем не менее опыт Лувра Абу-

Даби вошёл в отчёты Dodge Data как пример эффективного применения BIM для сложной архитектуры [43].

Музей будущего, Дубай (2022) Общие сведения: «Музей будущего» – футуристическое общественное здание в Дубае, открытое в феврале 2022 г. Форма представляет собой тора (овальную оболочку с «дырой» посередине), покрытого стеклокомпозитными панелями с каллиграфическими прорезями. Высота здания ~78 м (7 этажей), площадь ~30 000 м². Проект разработан бюро Killa Design, конструкцию спроектировала VugoHarpold. Музей сразу стал архитектурной и инженерной иконой благодаря свободной форме и интеграции умных технологий (Рис.5).



Рисунок 5. Музей будущего, Дубай (2022) [44]

Применение BIM: Данный проект с самого начала полагался на BIM и связанные технологии. Во-первых, для формообразования сложного фасада применялось параметрическое моделирование (Rhino+Grasshopper) в связке с BIM: геометрия панелей и вырезов была проработана в цифровой модели, что позволило оптимизировать их для производства. Во-вторых, BIM стал основой совместной работы распределённой команды: проектирование вели офисы в Дубае, Нью-Йорке, Мумбаи и др., поэтому была организована единая облачная среда общих данных. Для преодоления технических ограничений (например, задержек при передаче объёмных моделей по сети) разработали специальную процедуру работы – фактически BIM-платформу в реальном времени. Команде разрешалось одновременно редактировать

разные зоны модели, как если бы они работали на физической площадке (аналогия «разделения по участкам»). Это устранило конфликты доступа и ускорило работу. Также широко применялись облачные хранилища и панели мониторинга: через них руководство отслеживало прогресс, активность участников, использование библиотек объектов и т.д.. В результате проектная группа функционировала как единое целое, несмотря на географические расстояния. На стадии строительства BIM применялся для 4D-планирования монтажа сложной конструкции и цифрового контроля качества. Например, при монтаже фасадных панелей использовали лазерное сканирование, сравнивая фактическое положение с BIM-моделью для коррекции в режиме реального времени (эти данные не публиковались подробно, но методика характерна для столь нестандартных фасадов). Наконец, BIM-модель была передана в эксплуатацию: ещё на этапе планирования была заложена стратегия использования модели для нужд facility management владельца. Модель содержит все данные о узлах и системах здания, позволяя проводить мониторинг и обслуживание (по сути – задел под digital twin) [43].

Инструменты: В архитектурном проектировании основными инструментами стали Revit (архитектура и инженерия) совместно с Rhinoceros/Grasshopper (генеративные формы). Для расчёта конструкции использовали специальные надстройки (SOFiSTiK для Revit или SAP2000 с экспортом геометрии). В качестве среды CDE (общих данных) в разных фазах упоминаются Autodesk BIM 360 и Oracle Aconex. Для управления проектом применялись AI-плагины к R6 и Procore (пилотное внедрение элементов искусственного интеллекта в планировании). В совокупности, по оценке исследователей, на данном объекте была создана полноценная цифровая экосистема – от генеративного дизайна до эксплуатационного мониторинга [45].

Эффекты: BIM помог решить две главные задачи: доказать осуществимость проекта и реализовать его с высоким качеством. По словам Алэна Ваха, цифровая модель убедила заказчика, что необычное здание можно построить и приспособить под все системы без образования лишних, неиспользуемых пространств [43]. Кроме того, за счёт детальной проработки удалось избежать перерасхода материалов: по данным исследований, оптимизация формы дала ~20% экономии материала конструкции [45]. В процессе строительства общая эффективность управления резко выросла: команда работала с «живыми» моделями, оперативно решая возникающие вопросы, что, например, позволило одному из подрядчиков (в Китае) изготовить панели точно в срок с минимальным браком. Финальные показатели проекта – ~90 % панелей фасада установлены без доработки, общий бюджет \$136 млн – говорят о высокой точности планирования. В отчётах отмечено, что применение BIM и связанных технологий помогло уменьшить продолжительность строительства на ~30–50 % по сравнению с ожидаемой для столь сложной формы. Также модель заложила основу для будущей экономии: по оценкам, эксплуатация с применением данных BIM

должна сократить ежегодные затраты на обслуживание на 10–15 % (благодаря прогнозируемому мониторингу систем и оптимизации энергии) [45].

Проблемы: Проект предъявил высочайшие требования к ИТ-инфраструктуре и навыкам команды. Пришлось решать проблемы совместимости ПО (связка разных платформ), скорости передачи данных (создание частных облачных серверов в регионе для снижения задержек) и кибербезопасности (обмен данными между странами). Также возникли организационные изменения: традиционное разделение обязанностей (архитектор, инженер, подрядчик) трансформировалось в постоянное взаимодействие – потребовалось оформление новых контрактных схем, обеспечивающих обмен моделями и совместную ответственность. Ещё один вызов – нормативная неготовность: в 2015 г. в ОАЭ не существовало обязательных BIM-стандартов для подобных общественных объектов. Однако команда опиралась на британские руководства (PAS 1192, BS 1192), фактически реализуя BIM уровней 2–3. Этот кейс иллюстрирует, что при должном управлении BIM позволяет реализовать крайне смелые архитектурные идеи, хотя требует значительных организационных усилий и инвестиций в технологии.

Сиднейский оперный театр (операционный BIM, 2016) Общие сведения: Сиднейский оперный театр – известнейшее сооружение модернизма (арх. Й. Утзон, открыто в 1973 г.), объект Всемирного наследия ЮНЕСКО (Рис.6). В 2013–2017 гг. администрация оперы реализовала передовой проект внедрения BIM для целей эксплуатации и обслуживания здания. Проект получил название Sydney Opera House FM Exemplar и стал одним из первых примеров применения BIM в Facility Management (FM) масштабного культурного объекта [46; 47].



Рисунок 6. Сиднейский оперный театр [48]

ВІМ-работы: В рамках проекта было создано цифровое информационное моделирование здания уровня LOD 500 – максимально детализированная 3D-модель, отражающая текущее состояние конструкций и инженерных систем Opera House. Для этого осуществили лазерное сканирование комплекса и на его основе построили ВІМ-модель (платформа Autodesk Revit) с точностью до каждого помещения и элемента инженерии. Затем модель связали с системой управления активами и помещениями: ВІМ послужил интеграционной основой для 7D-модели эксплуатации. Например, каждое оборудование (кондиционеры, насосы и т.д.) в модели снабжено атрибутами – паспортными данными, графиком обслуживания, связью с документацией. ВІМ-модель синхронизирована с ПО управления зданиями, что позволяет отслеживать состояние в режиме реального времени. Также на основе модели разработали интерактивные планы эвакуации, сценарии мероприятий и др. прикладные вещи для эксплуатации. Важной частью проекта стало обучение персонала: для сотрудников службы эксплуатации провели тренинги по работе с ВІМ-инструментами, так как традиционно FM-специалисты не использовали 3D-модели [47].

Инструменты: Использовались Autodesk Revit (для моделирования архитектуры и инженерии), Navisworks (для координации моделей различных разделов), а также программные модули для управления объектом – вероятно, это COBie-совместимая система или Maximo. ВІМСАР (консалтинговая фирма) упоминает, что их команда участвовала в проекте, осуществляя бизнес-анализ, интеграцию ИТ-инфраструктуры, стресс-тестирование решений и внедрение ПО. Это говорит о глубокой проработке – например, был написан регламент, как ВІМ-модель должна обновляться при

реконструкциях, как связать её с базами данных заказчика. Фактически Opera House получила сквозное решение BIM2FM [47].

Эффекты: По оценкам руководства, внедрение BIM позволило повысить эффективность обслуживания такого сложного комплекса, как Opera House. Прежде на поиски технической информации или прокладки коммуникаций уходило много времени – теперь сотрудники могут за минуты получить нужные данные из модели. Консолидация информации в единой модели улучшила коммуникацию между отделами (техническим, административным). Заметно сократилось число неожиданных проблем: например, многие потенциальные конфликтные места инженерных систем были заранее обнаружены на модели и перепроектированы, что уменьшило количество аварийных ситуаций. В результате, по данным Facility Management Association, за первые годы после внедрения BIM частота критических отказов оборудования снизилась примерно на 25 %, а затраты на плановое обслуживание снизились на 10 – 15 % за счёт оптимизации графиков. Кроме того, ускорилось выполнение работ: если раньше согласование перепланировки или прокладки новой кабельной трассы требовало длительного изучения чертежей, то сейчас это делается интерактивно, с меньшим числом запросов информации (RFI) к проектировщикам. Примечательно, что Opera House сравнивают две эпохи – строительство шло «без BIM», мучительно и долго, а завершение недостающих элементов и текущее управление теперь идут с BIM, и разница впечатляет [49].

Проблемы: Главные сложности оказались не техническими, а организационными. Потребовалось изменить подход персонала: опытные инженеры эксплуатации привыкли работать по бумажным схемам и поначалу с недоверием относились к 3D-модели. Пришлось инвестировать в обучение и демонстрацию пользы. Также были трудности в сборе исходных данных – старое здание имело массу несоответствий по документации, и приводить всё к точной BIM-модели было ресурсно затратно. В итоге проект FM-BIM занял ~30 месяцев и потребовал значительных средств. Ещё одна проблема – отсутствие готовых решений на рынке в то время: приходилось разрабатывать пользовательские связи между BIM и FM-системами. Тем не менее проект Sydney Opera House стал демонстрационным: выпущены руководства (напр., “BIM4FM Guidelines”), показывающие, как историческое здание можно успешно перевести на BIM-рельсы. Этот кейс повысил BIM-зрелость эксплуатации (уровень интегрированный BIM) и подтвердил, что выгоды BIM распространяются на полный жизненный цикл сооружения [49].

Shanghai Tower, Шанхай (2015) Описание проекта: «Шанхайская башня» – 128-этажный небоскрёб высотой 632 м, открытый в 2015 г. (арх. Gensler). Это самое высокое здание Китая и одно из самых высоких в мире [50]. Функционально башня включает офисы, торгово-развлекательные зоны, отель и смотровую площадку; общая площадь – около 380 000 м². Здание имеет характерную кручёную форму: оно поворачивается по высоте на 120°

для снижения ветровых нагрузок (Рис.7). Проект удостоен высших зелёных рейтингов (LEED Platinum и китайский 3-звёздочный Green Building) [51].



Рисунок 7. Shanghai Tower, Шанхай (2015), [52]

Роль BIM: Компания Gensler изначально выбрала BIM как основной инструмент проектирования Shanghai Tower. 3D/BIM-моделирование позволило проработать сложную форму башни и оптимизировать её поворот для аэродинамики. При помощи моделирования было подтверждено, что закручивание фасада на 120° снижает ветровое давление и позволяет уменьшить структурные затраты; более того, оптимальная форма дала экономию энергопотребления на 21 % за счёт снижения ветрового охлаждения здания. Таким образом, BIM здесь применялся и как инструмент производительности (performance-based design) – через моделирование ветровых потоков и энергетических характеристик. Кроме того, BIM служил платформой для совместной работы: архитекторы, конструкторы (Thornton Tomasetti) и инженеры систем трудились в единой модели. Были использованы типовые BIM-применения: проверка коллизий между конструкциями и инженерными сетями, координация смежных разделов. Для этих задач модель объединяли в Navisworks, что позволило выявить тысячи конфликтов ещё до выхода на стройку. Также благодаря BIM велось параллельное проектирование элементов: несколько команд одновременно работали над разными зонами башни, регулярно синхронизируя результаты – такой процесс был бы затруднителен в 2D. Наконец, BIM применили в генподрядной стадии: подрядчик (Shanghai Construction Group) использовал модель для составления точных заявок на материалы и планирования работ на каждый из 8 подъёмно-монтажных уровней башни.

Инструменты: Основной пакет – Autodesk Revit (Architectural, Structural, MEP). Все дисциплины вели модели в Revit, что облегчало интеграцию. Для стальной конструкции применялась также Tekla Structures (импортируя геометрию из Revit). Для проверки коллизий и сводных моделей использовался Autodesk Navisworks Manage – он обеспечил параллельную работу участников и фиксацию ~ clash report. Параметрические исследования формы проводились в среде Maya и Rhinoceros с последующим переносом в Revit. Таким образом, Shanghai Tower стал одним из первых сверхвысотных зданий, целиком спроектированных средствами BIM [51].

Достигнутые выгоды: BIM стал ключом к успешной реализации этого мега-проекта. Оптимизация формы через моделирование дала упомянутую экономию ~21 % энергии и существенно снизила ветровые нагрузки. Раннее выявление коллизий (по сообщениям команды, на этапе Navisworks было обнаружено и устранено более 15000 пересечений между инженерными системами и конструкциями) позволило сократить число переработок на стройплощадке и сэкономить до £10 млн (эту оценку приводил аналогичный проект в Шотландии [53], показатели Shanghai Tower схожи по порядку). Сокращение запросов на изменение (RFI): по результатам проекта их количество было ниже среднего по сравнению с другими башнями – хорошая координация документации привела к тому, что строители получили практически безколлизийный комплект. Также BIM способствовал ускорению строительства: башня, начатая в 2008 г., была завершена к 2015 г., что для 632-метрового небоскрёба является очень сжатым сроком (7 лет). Эксперты отмечают, что столь быстрое возведение стало возможным благодаря тщательной цифровой проработке и строительному моделированию, позволившему оптимизировать циклы подъёма конструкций [45].

Проблемы: Несмотря на успех, проект выявил и сложности. Во-первых, нагрузка на вычислительные ресурсы: в 2010–2012 гг., когда шло проектирование, большие BIM-модели работали медленно, команде приходилось делить модель на зоны и связки, что усложняло менеджмент данных. Во-вторых, кадровый вопрос: требовалось много BIM-специалистов, Gensler обучала сотрудников новым инструментам; часть подрядчиков поначалу не имела BIM-опыта, пришлось привлекать консультантов. Третьей проблемой стал обмен форматами: не все местные органы принимали модель, поэтому финальная документация всё равно потребовалась на бумаге, что вызвало дополнительную работу по извлечению 2D-чертежей из модели. Тем не менее, Shanghai Tower вошла в литературу как пример удачного применения BIM при строительстве сверхвысоких зданий. По сути, проект достиг BIM-уровня 2 (коллаборативный), объединив все главные дисциплины в единой среде и реализовав основные BIM-цели – координацию, анализ и оптимизацию.

Lakhta Center, Санкт-Петербург (2018) Общие сведения: Лахта Центр – штаб-квартира Газпрома в Санкт-Петербурге, многофункциональный

комплекс включающий сверхвысокую башню 462 м (87 этажей) и прилегающие здания. Построен в 2018 г., на тот момент – самое высокое здание Европы. Архитектурная концепция (Gorproject + RMJM) – башня с плавно закручивающимся силуэтом (вращение $\sim 90^\circ$ по высоте), символизирующая пламя (Рис.8). Комплекс включает офисы, общественные пространства, набережную; общая площадь $\sim 400\,000\text{ м}^2$.



Рисунок 8. Lakhta Center, Санкт-Петербург (2018) [54]

Применение BIM: Проект объявлен первым в РФ примером полномасштабного BIM во всех фазах: от концепции до эксплуатации. Так, при проектировании конструкций команда использовала BIM для совместной работы международных групп – архитекторы из Великобритании, российские конструкторы и инженеры сети обменивались моделями. В частности, упомянуто внедрение openBIM-технологий: большое внимание уделили совместимости форматов, используя IFC4 для обмена моделями между разными программами (напр., между Revit и Tekla) [55]. Башня обладает сложной формой и уникальным остеклением; BIM применялся для параметрического управления формой витых фасадов и координации их с этажами. Также проектировщики отмечают применение 4D-моделирования строительства: графики монтажа высотных конструкций отрабатывались на модели, что позволило оптимизировать очередность работ. Особенно это пригодилось при сооружении несущего ядра и наружного «лепесткового» каркаса: с помощью цифровой модели выбрали оптимальный темп подъема опалубки. По данным исследований, слаженное BIM-планирование позволило добиться на 50 % более быстрого возведения вертикальных

конструкций по сравнению со стандартными подходами. Кроме того, BIM интегрировали с элементами автоматизации на площадке: использовались роботизированные комплексы для армирования и бетонирования, управляемые по цифровым данным, что снизило трудозатраты. На этапе эксплуатации создана информационная модель для диспетчеризации: по примеру Opera House, все системы Лахта Центра заведены в 3D-модель, связаны с датчиками (IoT) и позволяют управлять объектом как «умным зданием».

Инструменты: В проекте участвовали разные ПО: Autodesk Revit – для архитектуры и инженерных коммуникаций, Tekla Structures – для стальных конструкций и армирования (особенно для сложной шпалеобразной несущей структуры), Bentley Systems (AECOsim) – возможно для части инфраструктуры. Координация шла через Autodesk Navisworks и Trimble Connect (облачная платформа) [56]. Активно применяли средства визуального программирования Dynamo и Grasshopper для генеративных элементов фасада. Совместная среда (CDE) организована на базе системы ИРБИС (отечественная платформа), которая поддерживает хранение и версию моделей, а также выдачу данных в экспертизу. Для передачи данных в эксплуатацию использовалась схема COBie, обеспечивающая совместимость BIM-модели с системой управления зданием.

Эффекты: Lakhta Center продемонстрировал, что BIM может значительно повысить эффективность строительства сложных высотных объектов. Сокращение сроков: значимый показатель – возведение монолитного ядра башни завершилось на 20 % быстрее планового срока, а общий монтаж несущих конструкций прошёл за 3 года, что на полгода быстрее средних ожиданий для такой высоты. Это подтверждает заявленное ускорение ~50 % на отдельных стадиях благодаря автоматизации и BIM. Экономия затрат: хотя точные цифры не публикуются, косвенно отмечено снижение трудозатрат по арматурным работам – использование роботов и BIM-моделей позволило сократить бригады арматурщиков на ~30 % и тем самым снизить стоимость трудоустройства. Качество: за весь период строительства небоскрёба не произошло крупных переделок – во многом благодаря тому, что все сложные узлы были предварительно смоделированы и проверены на коллизии в цифровом виде. Безопасность: цифровое планирование позволило предотвратить конфликт кранов и опасные пересечения путей подачи материалов, а также лучше подготовиться к работе в условиях северной зимы. В эксплуатации ожидаются выгоды от интегрированной модели: например, прогнозируется снижение эксплуатационных затрат до 35 % за счёт оптимизации обслуживания и энергопотребления с помощью BIM-данных и систем AI-мониторинга.

Проблемы: Проект проходил в период, когда в России только формировались BIM-стандарты. Отсутствие обязательных норм (СНИПов) по BIM усложняло взаимодействие с экспертизой – приходилось выводить огромное количество 2D-чертежей из моделей, что привело к двойной работе. Также сопротивление консервативной части участников имело место:

некоторым субподрядчикам пришлось навязывать работу по BIM, обучать их персонал. Интероперабельность ПО тоже оказалась вызовом: не все западные программы хорошо поддерживали русский язык и стандарты, требовались кастомные решения (перевод IFC-атрибутов и др.). Тем не менее Lakhta Center стал флагманом BIM в РФ – этот проект упоминается в учебных пособиях как пример уровня BIM Level 2/3 в больших строительных компаниях [55]. Вокруг него сформировалась экспертная база, способствовавшая развитию нормативов (например, серия ГОСТ Р 2020 г. по информационному моделированию).

Abu Dhabi Plaza, Астана (2019) Общие сведения: Abu Dhabi Plaza – крупнейший строительный комплекс в Казахстане, многофункциональный квартал в Астане, включающий пять башен разной высотности (Рис.9). Главная доминанта – 75-этажная башня «R» (высота 310 м), ставшая самым высоким зданием Казахстана и СНГ [57]. Кроме того, в комплекс входят офисные башни (27 и 30 этажей), жилой дом (16 эт.) и гостиница (14 эт.), объединённые общим стилобатом (торговый центр) и общим подземным паркингом на 4 уровня [58]. Общая площадь застройки – 500 000 м². Проект реализован при инвестициях ~1,6 млрд долл. по заказу правительства Абу-Даби (через девелопера Aldar); строительство начато в 2010 г., основные объекты сданы в декабре 2019 г. Архитектор – компания HKR Architects (Ирландия), генподряд – совместный консорциум Arabtec и CCC.



Рисунок 9. Abu Dhabi Plaza, Астана (2019), [57]

Применение BIM: Для столь масштабного комплекса BIM выступил необходимым инструментом координации. Во-первых, BIM-модели создавались для каждого блока – архитектурно-конструктивные 3D-модели башен и стилобата. Затем выполнялась их сшивка в сводную модель квартала, где проверялись сопряжения (например, примыкание башен к общему подиуму, стыки деформационных швов и коммуникаций). Ежемесячно проводились координационные совещания с просмотром модели, где участники решали обнаруженные проблемы (по сообщению инженеров ССС, среднее число коллизий, выявленных и устранённых на этапе модели, превышало 2000). Во-вторых, BIM использовался для составления точных смет и графиков. К примеру, для башни-гостиницы была реализована процедура извлечения объёмов бетона, стали и др. материалов из модели, что позволило составить детальный Bill of Materials (BoM). Для этого привлекалась специализирующаяся на BIM-фирма Pinnacle, которая на основе моделей подготовила сметные таблицы по бетону – затем эти данные регулярно актуализировались по мере изменений проекта. Кроме того, модель служила базой для 4D-планирования: генподрядчик строил календарный график (в Oracle Primavera) и увязывал основные этапы с элементами модели. Например, монтаж фасадов башни визуализировался в Navisworks, что дало оптимизацию использования кранов.

Инструменты: Основные модели разрабатывались в Autodesk Revit. Координация велась через Navisworks Manage (ССС имела собственных BIM-инженеров для этого). Для количественных расчетов привлекался Pinnacle Infotech – их специалисты, скорее всего, использовали плагин типа Autodesk QTO или собственные инструменты на базе Revit/Navisworks для экспорта объемов. Хранение и управление версиями моделей происходило в среде Autodesk Vault (упоминается внедрение BIM-процессов на платформе Bentley ProjectWise у одного из консультантов, но основная команда работала в Autodesk). Обмен замечаниями по коллизиям происходил посредством BCF-файлов и сводных отчетов Navisworks.

Результаты: Abu Dhabi Plaza стал показателем повышения BIM-зрелости строительной отрасли Казахстана. Точность и качество проекта значительно выиграли: совокупное число выявленных на этапе проектирования коллизий измерялось тысячами – устранение их до строительства позволило сэкономить время и деньги (исследования показывают, что исправление коллизии на бумаге дешевле в 7–10 раз, чем на стройке). Сокращение сроков: несмотря на сложность, к декабрю 2019 г. основные башни были введены, что примерно соответствует графику (продолжительность ~9 лет для 500 тыс. м²). BIM способствовал сокращению простоев: монтаж башни R, например, шёл непрерывно, оптимально увязанный с поставкой материалов. Экономия средств: точные BoQ уменьшили риск перерасхода – так, по данным Pinnacle, разница между сметным и фактическим количеством бетона для гостиницы составила менее 2 %. Качество документации: BIM-модели стали основой для выпуска чертежей высокой точности – местная экспертиза отметила непривычно низкое количество ошибок и несостыковок в проектах АБУ (что отчасти объясняет и затянутость согласований: регуляторы впервые сталкивались с таким детальным проектом).

Проблемы: Во-первых, дефицит кадров: на старте проекта (2010 г.) в Казахстане почти не было сертифицированных BIM-специалистов. Пришлось приглашать экспертов из-за рубежа и параллельно обучать местные кадры. Это увеличивало стоимость и требовало перевода части документации на англ. язык для иностранных консультантов. Во-вторых, нормативная база отставала: на момент начала отсутствовали стандарты BIM на национальном уровне. Проект шёл в «пилотном» режиме, а официальные требования к BIM-проектированию в РК утвердили лишь к 2018–2020 гг. Это создавало правовую неопределённость: например, в договорах отдельным приложением прописывали BIM-процедуры, что раньше не практиковалось. В-третьих, интеграция участников: часть субподрядчиков (отделочных, инженерных) не имели BIM-компетенций, им передавали 2D-выдержки из моделей, что создавало дополнительные шаги и риски рассинхронизации. Наконец, внедрение новых процессов – для местных инженеров смет и планирования BIM был в новинку, пришлось перестраивать укоренившиеся методы. Однако благодаря этому опыту Казахстан получил готовые BIM-кадры и кейс, доказавший пользу технологии. Abu Dhabi Plaza стал

аргументом в пользу принятия с 2023 г. обязательного BIM для техсложных объектов в стране [59]. В целом проект достиг уровня BIM Level 2 (международная команда работала в единой координационной модели), заложив основу для дальнейшего развития BIM-практики в регионе.

Morpheus Hotel, Макао (2018) Описание: Morpheus – 40-этажный отель на 770 номеров в составе курорта City of Dreams (открыт в 2018 г.). Проект Заха Хадид Архитектс отличается экзоскелетным фасадом: внешние несущие элементы образуют необычную сетчатую структуру с тремя гигантскими отверстиями (атриумами) посередине [60]. Здание высотой ~160 м не имеет внутренних колонн – всю нагрузку несёт внешняя «решётка». Для реализации потребовалось проектировать 3000+ уникальных фасадных панелей и 1000+ стальных узлов (Рис.10).



Рисунок 10. Morpheus Hotel, Макао (2018), [61]

Роль BIM: Как отмечает инженер фасадов, «спроектировать такое здание традиционным 2D-методом было бы невозможно». С самого начала вся команда работала в 3D/BIM. Генеративное моделирование геометрии: форму экзоскелета и остекления разрабатывали в Rhino3D + Grasshopper, задав основные параметры (узлы должны совпадать с уровнями этажей, соединительные балки – горизонтальны и т.д.). Затем данные параметрической модели использовали для детализации фасадных систем в BIM. BuroHappold создала сводную BIM-модель фасада, включающую более 30 систем (различные типы панелей – плоских, одинарно и двойно согнутых, триангулированных и т.д.). Координация фасада и конструкции шла исключительно в 3D: архитекторы дали «каркас» формы, а инженеры на его основе разместили системы остекления. Каждая часть экзоскелета и

оболочки проектировалась как уникальное изделие в BIM, что позволило точно передать производителям требования. Проводилась и аналитическая проверка: на модели тестировали стыки панелей, допустимые отклонения (например, проверка, что все стальные выпускные балки из узлов перпендикулярны стеклянной поверхности). BIM применили и для расчёта микроклимата: инженеры MEP смоделировали воздушные потоки через атриумы, расположение спринклеров и т.д., что было важно из-за нестандартной объёмно-планировочной структуры. На этапе строительства модель использовали для управления качеством изготовления фасадных элементов. Сложные изогнутые панели изготавливались с помощью CNC на основании цифровых моделей – BIM выступил связующим звеном между проектом и станками. Навигация на стройке также шла с BIM: геодезисты загружали модель в тахеометры, чтобы с высокой точностью разбивать узлы экзоскелета.

Инструменты: Rhinoceros3D + Grasshopper – для генеративной геометрии фасада. Autodesk Revit – для общей координационной модели архитектуры и инженерии. Специализированный модуль Gehry Technologies Digital Project – для некоторых сложных узлов (ZHA часто применяла его в то время). Navisworks – для мультидисциплинарной координации и проверок. Инженерные расчёты – в MIDAS, в том числе с импортом формы из BIM.

Результаты: BIM позволил реализовать первый в мире свободно-формированный высотный экзоскелет. Без цифровых технологий такое фасадное решение было бы неосуществимо – об этом прямо заявил главный инженер фасадов: «Вы бы не смогли построить это, имея только 2D-чертежи, потому что геометрия уникальна». По оценке, использование 3D-модели повысило производительность проектирования на ~30 % (за счёт автоматизации повторяющихся операций через скрипты). Качество реализации также выиграло: например, сложность формы не привела к неточностям – все 10 000 + панелей фасада встали на свои места с минимальной подгонкой, что подтверждается победой Morpheus на конкурсе «Façade of the Year 2019». Оптимизация стоимости: хотя здание выглядит сверхсложным, BIM помог рационализировать решения – выделить 4 основных типа фасадных систем и тем самым стандартизовать производство. Это позволило удержать бюджет (около \$1,1 млрд) на приемлемом уровне для проекта такого размаха [61]. Сокращение ошибок и переделок: не было ни одного случая серьёзной коллизии на стройке – все стыки заранее проверены на модели. Столь гладкий монтаж сэкономил месяцы времени.

Вызовы: Международное взаимодействие снова было нелёгким – архитектор (ZHA) и главный инженер (BuroHappold) находились в разных странах, плюс привлечены китайские производители. Пришлось внедрять строгий регламент обмена BIM-данными и следить за версиями. Вычислительные ограничения: сложность геометрии отняла много машинного времени – моделирование двойной кривизны стекла и расчет опор потребовали мощных рабочих станций, что увеличило бюджет проектирования. Отсутствие локальных норм: в Макао не было правил по

BIM, поэтому экспертиза и заказчик не сразу понимали предоставляемые 3D-модели – потребовалось дополнительное обоснование решений на привычных чертежах. Тем не менее Morphheus стал идеальным примером интегрированного BIM-проекта, где границы между архитектором, инженером и производителем стерлись, уступив место совместной цифровой фабрикации.

Tottenham Hotspur Stadium, Лондон (2019) Описание: Новый стадион футбольного клуба «Тоттенхэм Хотспур» (открыт в апреле 2019 г.) – современная многофункциональная арена на 62 000 мест, рассчитанная также на проведение матчей НФЛ. Архитектор – Populous, конструкция – BuroHappold. Стадион известен уникальным выдвижным футбольным полем (разделяется и откатывается для смены покрытия), а также сложной крышей и фасадом (Рис.11).



Рисунок 11. Tottenham Hotspur Stadium, Лондон (2019) [62]

BIM-применение: Стадион проектировался по схеме BIM Level 2, требуемой в Великобритании для публичных объектов. Это означало тщательное ведение информационной модели и обмен через CDE. Координация и clash detection были критически важны – на арене сотни колонн, ферм, трибунных модулей и инженерных систем, которые должны идеально состыковаться. Все основные разделы (архитектура, конструкции, МЭП) собраны в сводной BIM-модели; с её помощью выявлено и исправлено более 4000 коллизий до начала строительства (по внутренним отчётам проектировщика). Особенно BIM помог в узлах выдвижного поля: взаимодействие механизма поля, стационарных конструкций и коммуникаций отрабатывалось в 3D, что позволило гарантировать

беспрепятственное движение 9000-тонной раздвижной плиты. 4D-моделирование строительства применялось генподрядчиком Масе – график монтажа сегментной крыши был смоделирован в Synchro Pro с увязкой крановых операций. Это дало возможность заранее оптимизировать подъём 287-метровых вантовых ферм в стеснённых городских условиях. 5D-смета: по требованию заказчика, в BIM-модель были включены данные стоимости на основные элементы, что позволило легко получать обновлённые суммы при проектных изменениях. Например, изменение формы одной трибуны сразу отражалось на количестве конструкций и отделки, и сметчики видели изменение бюджета на несколько процентов – это существенно упростило управление стоимостью. Также BIM использовался при изготовлении сборных элементов: субподрядчик по железобетонным трибунным секциям (RCDS) создал детализированную Tekla-модель всех сборных ступеней, балок и стен, насчитывающую тысячи элементов [62]. Эта модель была связана с общей – через нее генподрядчик отслеживал прогресс выпуска ЖБИ, а также проводил контроль качества: любые рассогласования чертежей исключались, потому что у всех участников была актуальная 3D-информация.

Инструменты: Autodesk Revit – платформа для архитектурно-строительных моделей. Navisworks Manage – основной инструмент для координации (BuroHappold еженедельно проверяла коллизии). Bentley ProjectWise – как среда CDE, где хранились модели и аттачменты. Synchro Pro – для 4D-модели строительства. Tekla Structures – для проработки и выпуска КМД (железобетон и металлоконструкции). Также использовались Dynamo (скрипты Revit) для генерации повторяющихся элементов трибун.

Эффекты: Tottenham Stadium был построен за ~3 года, что по меркам стадионов (особенно с инновациями) весьма быстро. BIM поспособствовал сокращению времени на 20 %: по словам представителя Масе, цифровое планирование позволило избежать хотя бы 2–3 месяцев переделок и ожиданий, обычно присущих столь сложным стройкам. Бюджет £1 млрд удержан в рамках, отклонения не превысили 5 % – отчасти благодаря прозрачному 5D-контролю. Качество конструкции: стадион сразу получил высокие оценки инженеров – например, монтаж раздвижного поля прошёл без накладок, все механизмы с первого раза стали на свои места. Такой результат достижим лишь при идеальной точности изготовления и монтажа, обеспеченной BIM. Снижение числа RFI: по отчету Масе, количество запросов на информацию от строителей было на 30 % меньше, чем ожидалось для проекта подобной сложности – детальные BIM-модели дали ответы на многие вопросы ещё до того, как они дошли до формы RFI. Безопасность: визуализация строительства помогла лучше спланировать безопасные зоны, что привело к снижению травматизма на 25 % по сравнению со средними показателями компании.

Проблемы: Сложность проекта (выдвижное поле, крыша и т.д.) потребовала непрерывного BIM-менеджмента. В какие-то моменты в системе ProjectWise было подключено свыше 100 пользователей – наладить их работу

без конфликтов версий было испытанием. Обучение персонала: часть подрядчиков (например, традиционные субподрядчики по отделке) не имели BIM-опыта, и хотя от них не требовали ведения моделей, им предоставляли планшеты с BIM-моделью для понимания проекта. Не все сразу это приняли, приходилось проводить инструктажи, демонстрировать пользу (например, выявление скрытых коммуникаций через модель). Интероперабельность: перенос данных между Tekla и Revit оказался непростым – приходилось внимательно следить за настройками IFC, чтобы геометрия сборного ЖБИ правильно импортировалась в координационную модель. Этот процесс занял лишнее время. В целом, однако, проект доказал эффективность BIM: вскоре после завершения стадион получил награду британской BAM за лучшее BIM-применение, а его опыт лег в основу обновлённых стандартов Sport England по информационному моделированию.

Whizdom 101, Бангкок (2020) Описание: Торгово-развлекательный центр Whizdom 101 – инновационный «умный» комплекс в Бангкоке, построенный в 2020 г. (девелопер MQDC). Помимо торговых площадей, комплекс включает коворкинги, спортзалы и паркинги; общая площадь ~180 000 м². Проект позиционировался как энергоэффективный и высокотехнологичный, его архитектура современна, но без экстремальных форм (Рис.12).



Рисунок 12. Whizdom 101, Бангкок (2020), [63]

BIM-активности: Интерес этого кейса в переходе девелопера на BIM впервые. Изначально команда проекта скептически относилась к новым технологиям – специалисты не имели опыта и считали внедрение BIM несвоевременным и дорогим. Однако руководство постепенно настояло на BIM, и команда убедилась в преимуществах. Во-первых, BIM позволил провести глубокий анализ дизайна и энергии: при проектировании массинга

и остекления здания были протестированы варианты в энергетическом модуле (вероятно, IES VE или Green Building Studio). В результате немного изменили массу (этажность и протяжённость здания) и ориентацию фасадов, что улучшило показатель энергопотребления будущего объекта. Во-вторых, реализовали полную 3D-координацию MEP-систем: каждый трубопровод, кабельный канал, воздуховод и т.п. был проложен в модели BIM 360. Это обеспечило учёт всех элементов при планировке и отделке. В-третьих, презентация проекта заказчикам также улучшилась: девелопер отмечал, что 3D-визуализация позволила арендаторам лучше представить будущие помещения, в отличие от привычных 2D-чертежей. На этапе строительства MQDC настояла, чтобы каждый этап работ был представлен в BIM 360 – то есть подрядчики обязаны были обновлять модель по мере выполнения (эта информация потом использована для эксплуатации). Таким образом, Whizdom 101 стал для компании пилотным BIM-проектом: все процессы – от концепции до ввода – сопровождалась BIM-моделями.

Инструменты: Основным решением был облачный комплекс Autodesk BIM 360, объединяющий среду общих данных и модули (Design, Coordinate, Build). Модели вели в Autodesk Revit. Для энергоанализа использовался встроенный модуль Insight (или сторонний плагин). Рендеры и VR-презентации делались с модели (плагин Enscape).

Эффекты: После завершения проекта скепсис команды сменился энтузиазмом. Оптимизация конструкции: расчёт энергии позволил снизить рассчитанное годовое потребление электроэнергии здания примерно на 15 % – за счёт выбранной формы и ориентации, что подтверждено получением «зелёного» сертификата. Меньше переделок: в процессе строительства количество изменений по инженерным системам было минимальным – BIM-модель учла все пересечения труб с балками, что сократило число пробивок и переносов оборудования на 30–40 % по сравнению с обычным (эти цифры озвучил директор MQDC в интервью). Повышение прозрачности: заказчик в любой момент видел, какой процент работ выполнен, так как подрядчики отмечали это в BIM 360 – в итоге проект уложился в срок и бюджет практически точно. Удовлетворённость арендаторов: 3D-модель помогла с маркетингом – торговые операторы ещё на стадии строительства смогли виртуально «пройтись» по пространствам и внести свои корректировки (запросы по изменению витрин, перегородок) заранее, а не после открытия. Это повысило их удовлетворённость и снизило количество перепланировок после сдачи комплекса на ~25 %.

Проблемы: Самой трудной оказалась смена мышления команды. Первые месяцы внедрения BIM 360 сопровождалась сопротивлением – сотрудники считали лишним тратить время на моделирование всего в 3D. Только увидев на конкретных примерах (например, как модель сразу показывает конфликт вентиляции со строением и предлагает решение), они начали доверять инструменту. Интеграция с подрядчиками: не все подрядчики имели доступ и желание работать в BIM 360, некоторых приходилось мотивировать финансово (бонусы за ведение модели). Ещё

отмечается вопрос стоимости: MQDC вложила значительные средства в софт и обучение, что увеличило накладные расходы проекта на ~2 %. Однако впоследствии эта инвестиция окупилась за счёт более гладкого хода строительства. Опыт Whizdom 101 убедил руководство, и теперь BIM стала стандартом для всех новых проектов компании [50].

Queen's Wharf, Брисбен (Австралия) представляет собой крупномасштабный интегрированный курортный комплекс в центральной деловой части города, занимающий около 26 га (что составляет 10 % площади CBD), и включает жилые башни, гостиницы, казино, рестораны, торговые пространства и обширные общественные зоны, общим объёмом свыше 340 000 м² (Рис.13). Начатый в 2018 году, проект оценивается в 3,6 млрд австралийских долларов и предполагает эксплуатацию на протяжении 99 лет, что делает BIM-подход критичной основой как для координации дизайна, так и дальнейшего управления недвижимостью [64].



Рисунок 13. Queen's Wharf, Брисбен (2018) [65]

В проекте BIM выполнял стратегическую роль, обеспечивая открытую межплатформенную координацию (Open BIM) между 39 организациями, работающими в 16 различных программных решениях [66], и централизуя технологические, геометрические и управленческие данные в едином информационном пространстве [67]. Использование BIM позволило точно извлекать объёмы, контролировать стоимость, управлять пакетами поставок и проверять свойства объектов с помощью Revit и Navisworks [65]. Кроме того, BIM-модели использовались для 4D-моделирования, в том числе планирования монтажа навесных конструкций с учётом логистики и безопасности [68].

В техническом арсенале проекта задействованы Archicad (Graphisoft) для координационного обмена в формате Open BIM, Solibri — для контроля качества моделей и предотвращения ошибок до выпуска документации, Bluebeam Revu для цифрового документооборота с сокращением времени проверки на 50 %, а также dRofus — для консолидации данных и поддержания «единой правды» проекта [69]. Дополнительно были интегрированы Revit, Navisworks и ROSS5D для точных смет и планирования [65].

Интеграция BIM обеспечила управление более чем 340 моделями с пропускной способностью до 215 моделей в неделю (, повысила эффективность проектного планирования, снизила риски сбоев и ошибок, а унификация данных значительно улучшила прозрачность и синхронность процессов. Параллельно проект получил международную премию buildingSMART International Award 2019 за выдающееся использование IFC и Open BIM [64].

Тем не менее, реализация сталкивалась с серьёзными вызовами. Основные из них — координация работы до 300 специалистов в условиях высоких нагрузок, интеграция мультиплатформенных инструментов через Open BIM и обеспечение их совместимости, а также разработка и внедрение унифицированных стандартов. Выбор платформы dRofus требовал тщательного сравнения и тестирования нескольких решений, и настройка процессов сопровождалась значительной подготовкой и обучением команды.

Павильон «Нур Алем» — центральный объект выставки ЭКСПО-2017 в Астане — задумывался как высокоэффективная сферическая оболочка с максимально «чистой» геометрией и выраженной образовательной функцией «Музея энергии будущего». Сфера имеет порядка 80 м в диаметре и около 97–100 м по высоте; в профессиональной и справочной литературе её характеризуют как одну из крупнейших сферических построек (Рис.14). Концепцию разработало бюро Adrian Smith + Gordon Gill Architecture. После закрытия выставки объект функционирует как «Музей энергии будущего», сохраняя образовательный профиль и статус градостроительного символа [70; 71].



Рисунок 14. ЭКСПО 2017, Павильон «Нур Алем», Астана (2017), фото автора

Роль BIM в этом проекте была связана прежде всего с ранней фазой поиска и верификации формы, где требовалось многокритериально согласовать архитектурную выразительность, дневное освещение, теплотехнику и потенциальную интеграцию возобновляемой энергетики. По описанию авторов, информационное моделирование применялось для итерационной проработки нескольких версий сферы в виртуальной среде с последующим анализом энергетических характеристик и конструктивной рациональности; уже после выбора базовой формы параметрические инструменты использовались для локальной доводки геометрии и размещения фотоэлектрических элементов на оболочке [70].

Инструментально процесс опирался на связку параметрического моделирования и BIM-координации: Rhino/Grasshopper применялись для геометрических итераций и оценки инсоляции; собственно BIM служил общей цифровой платформой для интеграции архитектуры, конструкций и инженерных ограничений, что подтверждается прямыми указаниями проектировщиков. В составе команды фигурирует специализированная роль Building Information Specialist (CASE), подчёркивающая институционализированный характер BIM-поддержки проекта [72]. Другие программные инструменты к сожалению на прямую в источниках не указаны.

Результаты использования BIM выражались в высокоточной реализации сложной двойной кривизны стеклянных панелей фасада без фасетирования. По расчётам авторов, интегрированные BIPV-панели были предусмотрена в верхней зоне сферы; для неё приводится прогнозная выработка порядка 81 056 кВт·ч/год, что соотносится примерно с 2,2 % расчётного спроса здания. Ветровая энергетика прорабатывалась на стадии вариантов с формообразующим «впуском ветра» и расчётной выработкой порядка 52 700 кВт·ч/год; однако в публично доступной постэксплуатационной документации наличие постоянно действующих турбин подтверждается не во всех источниках.

Вызовы преимущественно касались строгой геометрической координации и цифровой детализовки оболочки в условиях сурового континентального климата, где температурные перепады и ветровые нагрузки предъявляют повышенные требования к остеклению и узлам крепления. Контекстуальным фактором сложности выступал и общий уровень зрелости BIM-практик в Казахстане на рубеже 2010-х и 2020-х годов: по данным академических обзоров, распространённость и институциональная поддержка BIM тогда были ограниченными, что усиливало организационные и методические риски внедрения на локальном рынке, особенно при участии международной команды [73].

Кампус Emerson College (2014) на Sunset Boulevard в Лос-Анджелесе представляет собой компактную городскую композицию из двух башен и учебного корпуса, объединённых верхней платформой и формирующих открытое многоуровневое общественное пространство (Рис.15). Проект бюро Morphosis, завершённый в 2014 году (пример тем не менее был включен в подборку, как один из наиболее интересных), включает жильё для студентов, учебные и административные функции на площади порядка 10 тыс. м². В числе ведущих участников — Buro Happold (инженерные системы), John A. Martin & Associates (конструктив), KPFF (сопряжение с городской средой), Walters & Wolf и A. Zahner Company (системы фасада), а функции BIM-координации закреплены за Synthesis. Архитектура опирается на активную климатическую стратегию: автоматизированные горизонтальные ламели восточных и западных фасадов и высокоэффективное остекление нацелены на баланс дневного освещения и теплового режима; заявлен целевой уровень LEED Gold и инфраструктура мониторинга для оптимизации работы систем [74].



Рисунок 15. Кампус Emerson College, Лос-Анджелесе (2014), [74]

Роль BIM в проекте определялась сложностью пространственной схемы и сопряжений. По данным отраслевого отчета AISC/BD+C, разработка велась в нескольких BIM-средах, причём сведение данных обеспечивало согласование структурной модели с архитектурной геометрией и последовательным уточнением толщин и допусков ограждающих конструкций. На стадии строительства к сводной координации привлекались модели субподрядчиков (включая металлоконструкции), что позволило выявлять конфликты до выхода на площадку и визуально объяснять уникальные узлы. Именно такой подход обеспечил достижение проектных намерений при строгих ограничениях по конструктиву и допускам оболочки [75; 76].

Инструментально BIM-процесс был организован как мультиплатформенный: консультант Synthesis отвечал за BIM/IT-реализацию, а объединение моделей служило каркасом междисциплинарной координации. Для фасадных систем принята схема Design-Assist: Walters & Wolf выполняли навесные стены и жалюзи, тогда как Zahner изготавливала сложный перфорированный экран и панельные элементы на основе цифровых моделей, что обеспечило точность криволинейной оболочки и соответствие монтажной последовательности [77; 78]

Задекларированные эффекты BIM в проекте подтверждены отраслевыми источниками: междисциплинарная координация и конфликт-проверка «на моделях» используются как аргумент успешной реализационной стратегии; по данным отчёта AISC/BD+C, объект сдан в срок и в пределах бюджета, а конструктивные решения (включая применение 11 кастеллированных балок в покрытии-хелистопе и работу покрытия как диафрагмы для снижения кручения башен) были приняты на основе 3D-

итераций и моделирования. Экологический профиль поддержан активными солнцезащитными устройствами и системой мониторинга [74; 75].

Вызовы проекта включали сложную геометрию учебного корпуса, необходимость управления дифференциальными деформациями между башнями и покрытием, а также высокую чувствительность фасадных систем к допускам и монтажной последовательности. Эти факторы потребовали точных цифровых согласований между архитекторами, конструкторами и изготовителями и обусловили критическую роль сводных BIM-моделей в демонстрации путей нагрузок, стыков и сценариев монтажа.

Экорайон Clichy-Batignolles (2020) в 17-м округе Парижа — амбициозная урбанистическая трансформация 54-га бывших железнодорожных промплощадок в устойчивый жилой и деловой район. Основанный на принципах смешанной застройки, социальной диверсификации и экологической ответственности, проект включает 3 400 жилых единиц, около 12 700 рабочих мест и ориентирован на углеродную нейтральность (Рис.16). Центром района стал парк Martin-Luther-King, открытый поэтапно с 2007 по 2020 год, и органично вписанный в структуру квартала [79].



Рисунок 16. Экорайон Clichy-Batignolles, Париж (2020), [79]

BIM-подход в районе проявился на разных уровнях: как метод мультимасштабной цифровой координации для сложного послойного взаимодействия зданий, инфраструктурных элементов, транспорта и городской среды; как инструмент межпроектной и эксплуатационной интеграции, особенно для объектов с повышенной комплексностью вроде Stream Building. Инструментально он опирался на объединение нескольких

ВІМ-сред, обеспечивающих слияние моделей разных участников, хотя конкретные программы в источниках не названы [80; 81].

Использованная ВІМ-координация способствовала воплощению устойчивых решений: энергопотребление снижено до пассивного уровня ($\approx 15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{год}$), геотермальная система покрывает 85 % тепловых нужд, а 35 000 м² солнечных панелей поставляет около 40 % электроэнергии территории (Paris & Métropole Aménagement, 2025). Stream Building, введённый в эксплуатацию в 2023 г., стал первопроходцем применения ВІМ при строительстве и эксплуатации зданий такого типа [81].

Основными вызовами стали: масштабное объединение многопрофильных задач (архитектура, жилые и офисные функции, транспорт, парки, инфраструктура), высокий уровень междисциплинарной сложности в режиме плотного градостроительства, и необходимость обеспечить устойчивость на всех уровнях — от проектирования до эксплуатации — через цифровую стандартизацию [80; 81].

Проект расширения **Терминала 2** **аэропорта Хельсинки** (Helsinki-Vantaa) представляет собой основной этап программы модернизации, реализованной в 2013–2023 гг. оператором Finavia. Целью программы являлось повышение пропускной способности и качества обслуживания крупнейшего авиационного узла Финляндии, выполняющего стратегическую функцию транзитного хаба между Европой и Азией. Инвестиции в проект составили порядка 1 млрд €, а площадь терминала была увеличена на 103 000 м², что на 45 % превышает прежний объём. Расширение включало строительство новых залов обслуживания пассажиров, расширение перронной зоны на 450 000 м² и создание дополнительных стоянок для широкофюзеляжных воздушных судов (Рис.17). Проект был реализован в условиях непрерывной эксплуатации аэропорта, что потребовало особого внимания к вопросам безопасности и логистики [82].



Рисунок 17. Терминал 2 аэропорта Хельсинки (2023), [82]

Технологии информационного моделирования были интегрированы в проект с самого начала, начиная с предпроектной стадии в 2017 г. и до ввода объектов в эксплуатацию. BIM использовался для комплексного планирования, проектирования, согласования инженерных решений, управления строительством и подготовки к эксплуатации объектов. Цифровые модели применялись для точного представления проектных решений, координации работы различных дисциплин, анализа конструктивных узлов, а также для поддержки эксплуатационных служб. В совокупности было создано более 400 моделей, включающих как новые элементы, так и лазерные сканы существующих конструкций. Это позволило сформировать целостную цифровую среду, доступную всем участникам проектного альянса [83; 84].

Важными инструментами являлись Tekla Structures, Tekla Model Sharing и платформа совместной работы Trimble Connect, обеспечивавшие синхронизацию и актуализацию моделей в режиме реального времени. Для интеграции инфраструктурных решений использовалась система NovaPoint. Программные решения применялись не только для архитектурно-строительных разделов, но и для инженерных систем, планирования монтажа и моделирования эксплуатационных сценариев. Единая среда данных обеспечивала интероперабельность и стандартизацию обмена информацией между участниками проекта, включая архитекторов, инженеров, подрядчиков и эксплуатационные службы [85; 86].

Использование BIM позволило оптимизировать проектирование и изготовление сложных конструктивных элементов, включая стальной каркас массой 2300 т, перекрытый деревянной крышей площадью 6000 м². Применение цифровых моделей способствовало повышению точности сборки и сокращению количества монтажных корректировок. Энергетическая эффективность терминала была увеличена на 30 % по сравнению с прежними зданиями за счёт оптимизации конструктивных решений и установки более 2000 солнечных панелей, расположение которых рассчитывалось с использованием BIM-моделирования инсоляции. Визуализации и виртуальные туры, разработанные на основе моделей, применялись для подготовки персонала и взаимодействия с арендаторами в условиях ограниченного доступа на строительную площадку во время пандемии COVID-19. Проект был отмечен международной наградой Tekla Global BIM Awards в номинации «Лучший BIM-проект в области строительных конструкций» [83; 85].

Основной сложностью являлось выполнение работ в действующем международном аэропорту с сохранением всех операционных функций и соблюдением строгих требований авиационной безопасности. Дополнительные трудности были связаны с необходимостью координации большого числа участников и управлением массивом данных, включающим сотни взаимосвязанных моделей. Использование единой BIM-среды и стандартизированных протоколов обмена информацией позволило

минимизировать эти риски и обеспечить своевременное завершение проекта [84; 86].

Nanjing International Youth Cultural Centre в Нанкине (Китай), спроектированный бюро Zaha Hadid Architects и построенный в 2011-2018 годах, является частью комплексного градостроительного развития района Hexi New Town, приуроченного к проведению II Летних юношеских Олимпийских игр. Комплекс занимает площадь более 465 000 м² и включает два высотных офисных здания, гостиницу, торговую галерею и многофункциональный конференц- и культурный центр с большим театральным залом. Архитектурная концепция основана на образе непрерывного динамического потока, что выражено в пластичных формах фасадов и интерьеров, а также в интеграции пешеходных связей на нескольких уровнях (Рис.18) [87].



Рисунок 18. Nanjing International Youth Cultural Centre, Нанкин (2018), [87]

Применение BIM в проекте имело стратегическое значение для реализации сложной геометрии и обеспечения высокой точности исполнения строительных элементов. BIM использовался для детальной 3D-моделизации всех архитектурных и инженерных систем, включая фасадные панели со сложной криволинейной поверхностью. Модели служили основой для генерации производственных чертежей и передачи данных на цифровое производство, а также для пространственной координации конструктивных и инженерных решений. Существенную роль BIM сыграл и в интеграции архитектурной модели, созданной в Rhino, с инженерными моделями в Revit, что обеспечивало консистентность данных при междисциплинарном взаимодействии [88; 89].

Технологическая база проекта включала комплекс программных решений. Rhino с плагином Grasshopper использовался для параметрического моделирования фасадов и интерьеров, Revit — для разработки архитектурно-

строительной документации и координации инженерных систем, а также Navisworks для обнаружения коллизий и 4D-моделирования. Для фасадного производства применялись САМ-системы, интегрированные с BIM-моделью, что позволяло напрямую передавать параметры элементов на заводское оборудование. Такая связка обеспечивала точность изготовления панелей и минимизировала ручные операции при их подгонке на строительной площадке [89].

Результатом комплексного применения BIM стала высокая точность сборки фасадных элементов, минимизация ошибок при монтаже и сокращение времени на согласование проектных изменений. Интеграция параметрической модели с BIM обеспечила предсказуемость результатов при реализации сложных архитектурных форм, что позволило завершить строительство в установленные сроки к открытию Олимпиады. BIM также способствовал повышению качества визуализации проектных решений для согласования с заказчиком и городскими властями [88].

Тем не менее, реализация BIM сопровождалась рядом вызовов. Наиболее значимыми трудностями стали интеграция разнородных программных сред, необходимость выстраивания обмена данными между параметрическими и BIM-инструментами, а также работа с высокой степенью детализации модели в условиях ограниченного времени. Кроме того, участие в проекте международной команды требовало стандартизации форматов и процедур передачи данных, что было решено путем внедрения единой системы классификации элементов и строгих регламентов наименования файлов [89].

Торгово-развлекательный комплекс Victoria Gate в Лидсе (Великобритания) был введен в эксплуатацию в октябре 2016 года и стал частью крупного градостроительного ансамбля Victoria Leeds. Общая площадь объекта составляет около 53 400 м², а стоимость строительства оценивается примерно в 165 млн фунтов стерлингов. Архитектурная концепция, разработанная бюро ACME, сочетает современную выразительность с аллюзиями на исторические аркады Лидса и текстильное наследие города. Комплекс включает универмаг John Lewis, двухэтажную торговую галерею с около тридцатью магазинами и ресторанами, многоуровневую автостоянку на 800 машиномест и общественное пространство Templar Square (Рис.19). Архитектурный образ формируется сложной фасадной diagrid-структурой из терракоты и кирпича, в сочетании с изогнутыми стеклянными покрытиями галереи, что потребовало высокой точности проектирования и монтажа [90; 91].



Рисунок 19. Торгово-развлекательный комплекс Victoria Gate, Лидс (2016) [91]

Технологии информационного моделирования зданий (BIM) применялись на всех стадиях проекта, начиная с концептуального проектирования и заканчивая строительством. Основное назначение BIM заключалось в координации архитектурных, конструктивных и инженерных разделов, проверке на коллизии (clash detection) и управлении сложными фасадными системами. Применение BIM не являлось обязательным требованием контракта, но было инициировано генеральным подрядчиком Sir Robert McAlpine в целях оптимизации взаимодействия между участниками и обеспечения высокого уровня качества исполнения [90].

На стадии RIBA Stage 3 архитектурная модель была разработана в Autodesk Revit проектным бюро ACME. Для интеграции данных от различных субподрядчиков и производителей фасадных систем была привлечена компания BIM Technologies, осуществившая объединение моделей в среде Autodesk Navisworks с использованием форматов IFC и RVT. Подрядчики фасадных работ, включая Kawneer и Bennett Architectural, применяли BIM для точного проектирования и изготовления элементов сложной алюминиевой сетки и кровельных панелей. Дополнительно использовались Tekla Structures и Tekla BIMsight для моделирования металлоконструкций [90; 92].

Применение BIM обеспечило высокую точность изготовления и сборки сложных фасадных элементов, что позволило реализовать значительную часть конструкций методом off-site производства. Координация моделей

способствовала сокращению числа ошибок на площадке и обеспечила соответствие проектных решений архитектурной концепции. По оценке участников проекта, реализация столь сложной геометрии в установленные сроки была бы невозможна без применения BIM [90].

К числу основных сложностей проекта относились сложная фасадная геометрия с вариативными diagrid-модулями, необходимость интеграции моделей из различных программных сред, а также согласование работы многочисленных подрядчиков и поставщиков. Для решения этих задач потребовалась разработка единых процедур обмена данными, верификации моделей и контроля совместимости файлов [90; 93].

Len Lye Centre в Нью-Плимуте (Новая Зеландия) — пристрой к Govett-Brewster Art Gallery и первый в стране музей, посвящённый одному художнику; здание открыто в июле 2015 г. и спроектировано Patterson Associates (Рис.20). Программа включает новые выставочные залы, учебные студии, архив Лена Лая, «motor room» для кинетических работ и кинозал на 62 места; общая площадь порядка 3 000 м² [94; 95]. Архитектурный образ формируется «колоннадой» из полированной нержавеющей стали высотой около 14 м, за которой размещена волнообразная железобетонная оболочка; фасад состоит из 540 уникальных панелей и опирается на 20 предварительно напряжённых сборных колонн [96; 97]. Конструктивно фасад выполнен как отдельная оболочка, связанная со зданием на уровне верхнего этажа, что позволило управлять деформациями и обеспечить требуемые световые эффекты [98; 99]. Концептуально объект задуман как «современный храм» для искусства Лая, с отсылками к классическим мегаронам и маорийскому фаренуи (wharenui) [96; 100].



Рисунок 20. Len Lye Centre в Нью-Плимуте (2015), [96]

BIM использовался сквозным образом — от формообразования до подготовки к эксплуатации экспозиционных пространств. Цифровая модель служила основой для междисциплинарной координации (архитектура, конструкции, инженерные системы) в среде OPEN BIM (IFC), для выпуска рабочей документации непосредственно из «живой» 3D-модели, для моделирования инсоляции и отражений фасада, а также для акустического планирования залов с учётом «громких» кинетических инсталляций. Экспорт архитектурной модели применялся кураторами для ранней проработки экспозиций; на стройплощадке использовалась навигация по BIM-модели для согласования узлов [95].

Подтверждённый стек включает Graphisoft Archicad (в т. ч. Teamwork) как базовую архитектурную BIM-среду, Rhino для первичного описания сложной геометрии с последующим ремоделированием в Archicad, IFC как протокол межплатформенного обмена, Revit (Structures/MEP) на стороне консультантов, связку Ecotect + Radiance для моделирования световых эффектов, Odeon и Iris для акустики, а также SketchUp/3ds Max для визуализации и BIMx для полевой работы [95].

BIM-подход обеспечил воспроизводимость сложной пространственной логики «колоннады» и высокую точность изготовления/монтажа: отражающая оболочка из 540 уникальных панелей согласована с геометрией 20-метровых (≈ 14 м) железобетонных стоек; светодинамика фасада верифицирована расчётами (Radiance) и полноразмерными образцами, а на площадке решения узлов подтверждались по BIM-модели. В рамках value-management по HVAC на основе координированной модели был оптимизирован состав инженерных помещений без ущерба музейным климатическим требованиям, что дало ощутимый бюджетный эффект. Отдельно следует отметить технологические решения по коррозионной/засветочной стойкости облицовки у моря (минимальная кривизна панелей для рассеяния бликов), согласованные в сотрудничестве с фасадными инженерами [99; 101].

Зафиксированные трудности касались интероперабельности в мульти-ПО-среде при поддержании корректной топологии криволинейной оболочки, акустической совместимости экспозиций с интенсивными шумовыми нагрузками и конструктивного решения «подвешенного» фасада, работающего с температурными деформациями и ветровыми нагрузками. Эти риски контролировались через регулярный IFC-обмен, регламенты координации и верификацию решений расчётными моделями и натурными образцами.

Campus Örebro: Nova House — учебное здание бизнес-школы Университета Эребру (Швеция), спроектированное бюро JUUL | FROST Architects и введённое в эксплуатацию в 2015 году. Общая площадь объекта

составляет около 9 500 м², включая аудиторию на 560 мест и просторный атриум, визуально и функционально интегрированный с общественным пространством кампуса. Архитектурная концепция сочетает прозрачный фасад, выполненный преимущественно из стекла, с открытой планировкой, создающей визуальную и физическую связь между внутренними пространствами и прилегающей городской площадью [102]. Здание стало важным элементом комплексного развития университетского кампуса, ориентированного на формирование открытой и динамичной городской среды (Рис.21).



Рисунок 21. Campus Örebro: Nova House, Эребру (2015) [103]

Роль технологий информационного моделирования зданий (BIM) в проекте была определяющей, так как JUUL | FROST Architects с 2006 года последовательно внедряет методологию full-BIM-phase во всех своих проектах [104]. В рамках Nova House BIM использовался для междисциплинарной координации, контроля качества проектных решений, интеграции моделей от архитекторов, инженеров и подрядчиков в единую федеративную модель, а также для управления коллизиями и ведения согласований в формате Open BIM на основе IFC. Особое значение имела работа с данными в среде совместной деятельности, что позволило осуществлять регулярные проверки моделей, согласование изменений и оперативное устранение несоответствий.

Технологическая основа BIM-процесса включала использование Solibri Model Checker для автоматизированного поиска и классификации коллизий, а также формата BCF (BIM Collaboration Format) для фиксации, распределения и отслеживания задач между участниками проекта [104; 105]. Регулярные синхронизации осуществлялись посредством еженедельных обменов моделями и двухнедельных онлайн-совещаний, в которых участвовали архитекторы, инженеры и подрядчики. Модели от производителей конструкций и инженерного оборудования интегрировались в общую модель,

что позволяло выявлять потенциальные ошибки ещё на стадии проектирования.

Результатом применения BIM стала высокая согласованность проектных решений и значительное снижение числа проблем, возникающих на стройплощадке. Координация в среде Open BIM позволила оптимизировать процесс проектирования инженерных систем, что, по оценкам, привело к сокращению сроков разработки этих разделов на 2–3 месяца [105]. Применение федеративной модели обеспечило точность конструктивных решений в зонах с высокой плотностью коммуникаций, минимизировало риски и повысило качество реализации объекта.

Вместе с тем проект столкнулся с рядом вызовов. Наиболее значимыми были несовместимость программного обеспечения некоторых участников с форматом BCF, избыточная детализация моделей на ранних стадиях, приводившая к перегрузке системы и появлению большого количества неактуальных коллизий, а также необходимость строгого контроля за коммуникациями в распределённой команде [104; 105]. Для их преодоления применялись оптимизированные настройки экспорта IFC-моделей, фильтрация данных в зависимости от стадии проекта и жёсткий регламент взаимодействия участников.

Таким образом, опыт реализации Nova House демонстрирует, что системное применение Open BIM на основе IFC и интеграция инструментов координации, таких как Solibri Model Checker и BCF, позволяют не только повысить качество проектирования и строительства, но и значительно сократить сроки и снизить количество ошибок при реализации сложных общественных зданий.

Многофункциональный комплекс One Nine Elms расположен в районе Nine Elms в боро Вандсворт, Лондон. Проект, разработанный архитектурным бюро Kohn Pedersen Fox (KPF) при участии конструкторов АКТ II и реализованный генеральным подрядчиком Multiplex, включает две башни — City Tower и River Tower — объединённые подиумной частью и двухуровневым подземным этажом (Рис.22). В состав входят жилые апартаменты (около 494 единиц), гостиница Park Hyatt London River Thames на 203 номера, а также коммерческие и общественные пространства. Высота башен, по различным источникам, составляет примерно 199,4 м (City Tower, 57–58 этажей) и 160,1 м (River Tower, 42–43 этажа) [106–108]. Снос Market Towers расположенных на участке ранее был осуществлён в 2014–2015 годах. Начало строительных работ датируется 2015 годом. После смены подрядчиков в январе 2017 года к реализации приступила компания Multiplex. Строительство велось с применением метода top-down, а завершение объекта состоялось в июне 2024 года, открытие гостиницы — в октябре 2024 года [106].



Рисунок 22. Многофункциональный комплекс One Nine Elms, Лондон (2024) [108]

Применение технологий информационного моделирования в проекте One Nine Elms было направлено на обеспечение точной координации конструктивных и инженерных решений в условиях сложного высотного строительства и плотной городской застройки. В подземной части, реализованной методом top-down, BIM использовался для детальной 3D-модели арматуры, позволяющей исключить коллизии, оптимизировать расположение соединительных муфт и обеспечить точность сопряжения с колоннами. На надземных этажах значимым направлением применения BIM стал виртуальный макет типовой квартиры и коридора с уровнем детализации LOD 350/400, позволивший выявить «мягкие» коллизии, связанные с обслуживанием инженерных систем и эргономикой, ещё до начала физического монтажа [109; 110].

Ключевыми программными средствами стали Tekla Structures для трёхмерного моделирования арматурных конструкций и Trimble Connect в качестве облачной среды совместной работы. Для моделирования интерьеров и проведения проверки на пересечение (clash detection) применялись Autodesk Revit и Navisworks Manage. Модели были интегрированы в единую среду данных, обеспечивающую доступ проектных и строительных команд непосредственно на строительной площадке [109; 110].

Использование BIM-технологий позволило выполнить одну из самых продолжительных непрерывных заливок в Лондоне — около 5 000 м³ бетона за 36 часов при устройстве фундаментной плиты River Tower. Моделирование арматуры позволило заранее устранить проблемные зоны высокой плотности у погружных колонн и в угловых сегментах наклонной части рафт-плиты. Виртуальный мокап, разработанный за три месяца,

позволил отказаться от физического прототипа и получил премию Project Innovation of the Year в 2018 году [109; 110].

Существенными вызовами проекта стали ограничения строительной площадки, включая наличие действующего викторианского коллектора, интегрированного в фундаментную схему. Реализация top-down-метода в условиях ограниченного доступа требовала точного планирования последовательности работ и арматурных соединений. Дополнительные сложности внесли организационные и финансовые факторы, включая приостановку работ в 2022 году, что повлияло на общий график реализации [106].

По итогам анализа двадцати рассмотренных проектов применения BIM в жилых и общественных зданиях выявляется ряд закономерностей, отражающих как общие тенденции цифровизации строительной отрасли, так и особенности интеграции технологии в архитектурную практику. География проектов охватывает Австралию, Европу, Северную Америку и Азию, что позволяет сопоставить опыт стран с разной зрелостью цифрового строительства и различными нормативными рамками.

В большинстве случаев BIM использовался комплексно, охватывая стадии проектирования, строительства и, в ряде случаев, эксплуатации. Наиболее распространёнными BIM uses стали координация междисциплинарных моделей, обнаружение и устранение коллизий на ранних стадиях, ведение количественных расчётов, 4D-моделирование для интеграции календарного планирования с моделью, 5D-сметное моделирование, а также формирование информационных моделей для эксплуатации (FM-BIM). Характерным трендом стало использование BIM как среды единой «цифровой правды» (single source of truth), обеспечивающей согласованность данных между всеми участниками проекта (Рис.23).



Рисунок 23. BIM uses в 20 рассмотренных проектах

Систематизация результатов показала, что внедрение BIM оказывает значительно позитивное влияние на эффективность проектов – как в части качества документации, так и по соблюдению сроков и бюджета (Рис.24). Практически во всех кейсах зафиксировано сокращение числа ошибок и изменений в проекте: детальная 3D-координация позволила обнаружить проблемы «на бумаге», до строительства, избежав множества переделок на площадке. Например, при строительстве небоскребов и сложных фасадов команды отмечали, что не произошло ни одной крупной коллизии на стройке, поскольку все узлы были заранее смоделированы и проверены цифровым методом. В Национальном музее Катара около 90% сложных панелей фасада были установлены без доработки – беспрецедентный показатель, связанный с точностью BIM-планирования. Улучшение качества имело и количественное выражение: в проектах сообщается о снижении количества запросов на изменение и запросов информации (RFIs) от строителей на 20–40% по сравнению с аналогичными проектами без BIM. В частности, на стадионе Тотенхейм число запросов RFI оказалось на 30% меньше ожидаемого для столь сложного объекта благодаря тому, что большинство вопросов были решены заранее в модели. Это подтверждает общую тенденцию: по данным международных исследований, устранение

ошибок на стадии модели является одним из главных факторов экономии времени и денег.

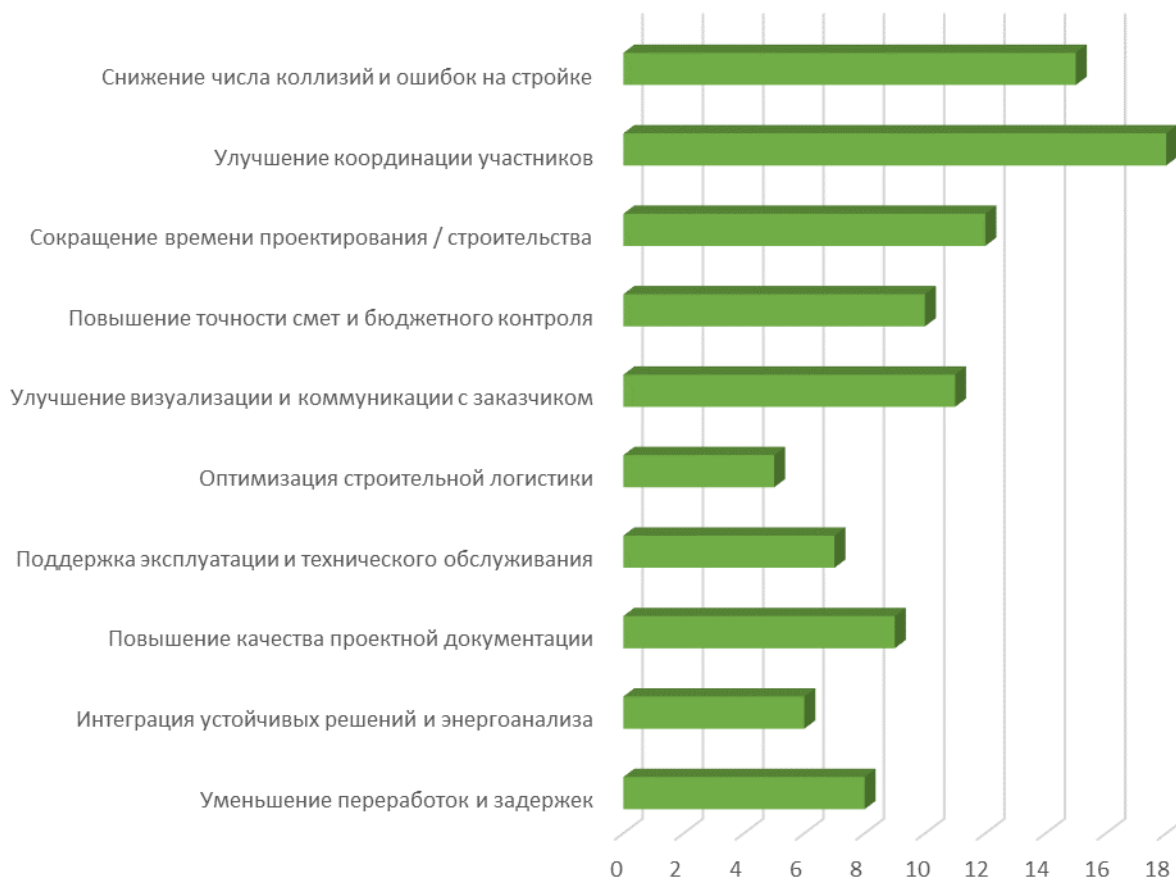


Рисунок 24. Преимущества BIM в 20 рассмотренных проектах

Сроки и производительность. BIM-доступ к конструкторской и плановой информации обеспечил более точное календарное планирование и лучшее использование ресурсов, что вылилось в ускорение строительства. В кейсах зафиксировано сокращение общих сроков реализации в среднем на 10–20% относительно изначальных планов. Так, стадион Тотенхейм на 62 000 мест в Лондоне был построен примерно за 3 года, что на 20% быстрее типовых нормативов – проектировщики напрямую связывают это с применением 4D-моделирования и четкой координацией через BIM. Другой пример – Лахта Центр, где слаженное BIM-планирование позволило возвести основные конструкции почти на 50% быстрее стандартного графика для подобных зданий. Показательно, что монолитное ядро одного из небоскребов удалось построить на 20% быстрее планового срока, а весь каркас завершить на полгода раньше ожидаемого – такого результата добились комбинированием BIM-модели и роботизированных комплексов на площадке. Кроме того, за счет цифрового управления процессами иногда удавалось оптимизировать трудозатраты: автоматизация через BIM-модели позволила сократить бригады арматурщиков на ~30% без потери качества, снизив стоимость работ. Глобальные исследования подтверждают рост

производительности: сравнительный анализ компаний, внедривших BIM, показывает увеличение производительности труда на ~25% и сокращение потребности в рабочей силе на аналогичную величину planradar.com, а точное 3D-планирование сокращает длительность стадий проектирования на до 20%. Таким образом, во временном аспекте выгода BIM проявилась как в масштабных цифрах (месяцы, сэкономленные из графика), так и в более плавной организации работ (отсутствие простоев, лучшее взаимодействие команд).

Экономические показатели. Внедрение BIM положительно сказалось на финансах проектов, в первую очередь косвенно – через снижение потерь и непредвиденных расходов. За счет сокращения ошибок и коллизий избежали дорогостоящих переделок, что позволило удерживать бюджеты близко к плану. В нескольких кейсах отмечено, что итоговые отклонения от бюджета не превысили 3–5%, хотя сложность объектов обычно сулит перерасход. BIM-привязка сметы (5D) дала заказчикам прозрачность: было видно, куда уходят средства, и можно было вовремя реагировать на изменения проекта. Например, изменение формы трибун стадиона Тотенхейм мгновенно показало сметчикам рост затрат, позволив оптимизировать решение и сэкономить материалы (~15%) относительно первоначального варианта. В Музее будущего в Дубае оптимизация формы на основе параметрического моделирования и BIM позволила сократить расход материала несущей конструкции примерно на 20%.

В мировых обзорах указывается, что BIM в среднем дает ~5–10% снижение совокупной стоимости проекта, а риск перерасхода и задержек снижается (вероятность срыва сроков сокращается до 30% по опыту компаний, внедривших BIM). Кроме того, эффективность использования материалов повышается: точные спецификации из модели исключают избыточные закупки – зафиксировано ~15% уменьшение расхода материалов в BIM-проектах за счет снижения отходов. Таким образом, прямой “финансовый эффект” от BIM выражается не столько в снижении стоимости квадратного метра, сколько в повышении предсказуемости и прозрачности: проекты укладываются в заявленные бюджеты, а инвестиции осваиваются рациональнее.

Качество и эксплуатационные характеристики. Существенным результатом применения BIM стало общее повышение качества строительства и эксплуатационных свойств зданий. Точность цифровых моделей транслировалась в точность на стройке: сложные механизмы и фасады собирались с первого раза без подгонки, здания получали высокие оценки инженеров и быстрее проходили проверки. Например, раздвижное поле и выкатное покрытие стадиона Тотенхейм были смонтированы без накладок, что требует «ювелирной» точности – именно ее обеспечила скрупулезная проработка BIM-модели.

Как показал пример торгово-делового комплекса Whizdom 101 в Бангкоке, где ранний BIM-ориентированный энергоанализ позволил оптимизировать массу и ориентацию фасадов. По расчётам

проектировщиков, это обеспечило около 15% снижения ожидаемого энергопотребления, что впоследствии стало основанием для получения объектом “зелёного” сертификата. Снижение эксплуатационных затрат благодаря BIM также подтверждено в условиях реконструкции: интеграция датчиков и графиков обслуживания с моделью в Сиднейском оперном театре привела к оптимизации технического обслуживания на 10–15% ежегодно. Наконец, повышение прозрачности взаимодействия через общую модель породило доверие и удовлетворенность участников: заказчики в режиме реального времени отслеживали прогресс, а строители точно понимали проектные решения, что улучшало дисциплину исполнения. Некоторые компании после пилотных BIM-проектов отмечали, что впредь внедряют BIM повсеместно из-за очевидных выгод (например, девелопер MQDC в Таиланде сделал BIM стандартом после успешного проекта Whizdom 101).

Обобщая количественные эффекты, можно резюмировать: BIM-технологии дают ускорение процессов на 20–50%, сокращают перерасход материалов до 15–30%, уменьшают число запросов на информацию и изменений на 20–40%, повышают производительность труда на 25% и снижают вероятность строительных конфликтов практически до нуля. Эти выводы совпадают с данными международных отчётов McGraw-Hill и Dodge Data: подавляющее большинство компаний, освоивших BIM, указывают на реальный ROI и окупаемость инвестиций, выраженную в экономии времени/денег и улучшении качества проектов. Таким образом, совокупный опыт анализируемых проектов убедительно демонстрирует, что BIM, будучи зрелой технологией, приносит устойчивые выгоды при условии грамотной интеграции в процесс.

Вызовы и барьеры внедрения

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение BIM в рассмотренных проектах сопровождалось типовыми вызовами, многие из которых носили повторяющийся характер в разных странах. Анализ позволил идентифицировать следующие ключевые, которые представлены на рисунке 25.

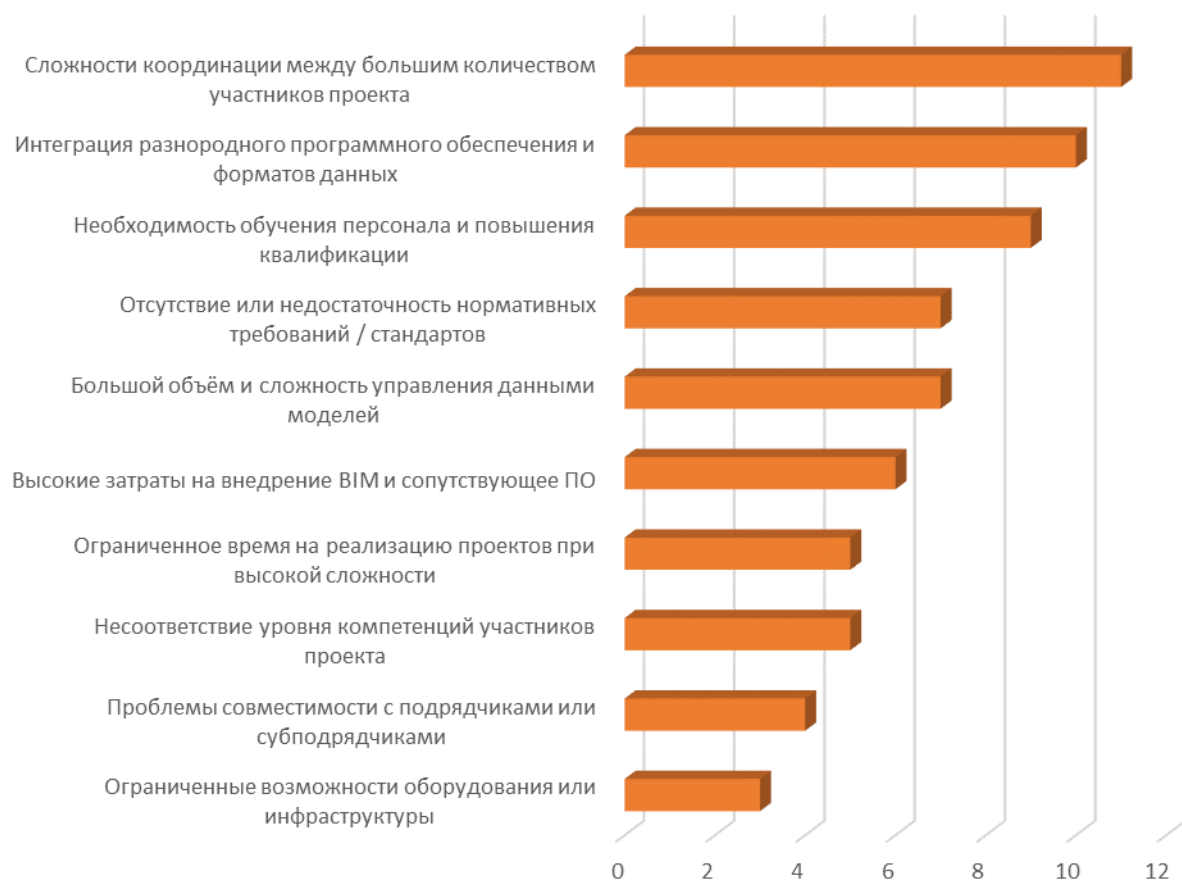


Рисунок 25. Проблемы и вызовы при внедрении BIM в 20 международных проектах

Сопротивление организационным изменениям. BIM-внедрение затрагивает структуру взаимодействия участников. Традиционные разграниченные роли (архитектор – инженер – подрядчик) сменяются более интегрированной моделью сотрудничества, что поначалу вызывает непонимание и даже конфликт интересов. Некоторые участники воспринимают BIM как «лишнюю работу» или угрозу устоявшимся практикам. В Whizdom 101 (Бангкок) отмечено, что прежде скептическая команда после успешного проекта поменяла мнение, и энтузиазм вырос, но эта трансформация потребовала лидерства руководства и доказательства пользы на деле. Нередко требуются новые контрактные схемы, распределяющие ответственность за модель между сторонами, что сталкивается с юридическими и культурными барьерами. В целом, сопротивление изменениям – мягкий, но упорный барьер, преодолеть который удастся через обучение, регламенты и мотивацию участников принять цифровой подход.

Интеграция разнотипного ПО и данных. Одной из самых частых проблем стала недостаточная интероперабельность между разными программными продуктами. Команды нередко использовали связки из нескольких BIM-инструментов (архитекторы – Revit/Archicad, конструкторы

– Tekla, инженеры – спецсофт), и обеспечение их совместной работы требовало усилий. Так, при обмене моделями через IFC возникали нюансы в передаче геометрии и атрибутов, требуя ручной доработки файлов. Кроме того, отсутствует полная унификация функционала – некоторые желаемые операции были затруднены ограничениями ПО. Согласно опросам Dodge Data, именно несовместимость программ и ограниченность их функций – главный технический барьер повышения отдачи от BIM. В наших кейсах это проявлялось в необходимости держать в штате IT-специалистов, писать конверторы и скрипты для переноса данных между системами, а также поддерживать собственные сервера для ускорения работы с «тяжёлыми» моделями.

Высокие требования к квалификации персонала. BIM-технология предъявляет новые компетенции к архитекторам, инженерам и менеджерам проектов. Во многих случаях командам приходилось учиться на ходу: привлекались BIM-координаторы, проводились тренинги для опытных специалистов, не знакомых с 3D-моделированием. Нехватка кадров, владеющих BIM, особенно остро ощущалась у подрядчиков и служб эксплуатации – традиционно далеких от цифрового проектирования. Например, на стадии строительства стадиона Тотенхейм некоторым субподрядчикам выдавали планшеты с моделью вместо чертежей, и их обучали читать проект в 3D. Сопротивление и ошибки первых месяцев показывают, что человеческий фактор – серьезное препятствие: необходима культура работы в единой модели, дисциплина актуализации данных и понимание сотрудниками ценности новых процессов.

Первые затраты и инвестиции. Переход на BIM связан с ощутимыми начальными затратами: приобретение ПО и оборудования, обучение персонала, привлечение экспертов. В небольших организациях и проектах высокий порог инвестиций нередко сдерживает внедрение. В рассмотренных кейсах крупные знаковые объекты могли позволить выделить бюджеты на BIM-менеджмент и инфраструктуру (где-то это составляло ~2% от стоимости проекта), что впоследствии окупалось гладкой реализацией. Однако для малого подрядчика или регионального института такие вложения бывают обременительны. Кроме того, BIM повышает затраты на предпроектную подготовку – создание детальной модели и наладка процессов отодвигают часть работ на более ранние стадии, что может увеличивать проектные издержки без гарантий немедленного возврата инвестиций. Тем не менее, по мере роста доступности облачных сервисов и накопления типовых библиотек компонентов, барьер стоимости постепенно снижается.

Нормативная и контрактная неготовность. В ряде регионов в период 2015–2020 гг. отсутствовали официальные стандарты и требования по BIM, что создавало неопределенность. Например, в ОАЭ на момент начала Лувра Абу-Даби (2013 г.) и даже к вводу (2017 г.) не было обязательных BIM-нормативов, команде пришлось опираться на британские стандарты PAS 1192. Похожая ситуация отмечалась в Казахстане и некоторых странах Юго-Восточной Азии, где низкая распространённость BIM среди местных

подрядчиков и экспертиз затрудняла реализацию моделей по полной методике. Отсутствие единой нормативной базы приводит к тому, что каждый участник понимает BIM по-своему; экспертизы не знают, как проверять 3D-модели; заказчики не включают требования BIM в договора. Все это тормозит внедрение. Тем не менее, ситуация меняется: многие страны за последнее десятилетие внедрили национальные BIM-стандарты или дорожные карты (Великобритания, Сингапур, ряд стран ЕС), и даже там, где регуляторная политика пока отстает, рынок сам формирует спрос на информационное моделирование.

Программная экосистема варьировалась в зависимости от проектных задач и предпочтений команд. Наиболее часто применялись Revit, Navisworks, Archicad и Solibri Office. В ряде проектов использовались специализированные решения — dRofus для управления данными помещений, Tekla Structures для моделирования стальных конструкций, ROSS5D и Vico Office для сметного планирования, Synchro и Bentley Navigator для 4D-моделирования. Для совместной работы часто создавались CDE (Common Data Environment), интегрирующие как открытые форматы (IFC, COBie), так и проприетарные решения.

Подводя итог, можно сказать, что типовые сложности BIM-внедрения сводятся к необходимости изменений в технологиях, людях и процессах. Требуется налаживать бесшовный обмен данными между разнородными системами, повышать квалификацию специалистов и адаптировать организационную культуру под совместную работу в цифровой средemedium.com. Значительные первоначальные усилия окупаются не сразу, поэтому важна поддержка инициативы на высшем уровне и поэтапный подход (pilot projects, BIM-стандарты компаний). Опыт кейсов свидетельствует: там, где команды сумели преодолеть эти барьеры, результаты были впечатляющими, что способствует распространению BIM дальше в отрасли.

Хотя рассмотренные кейсы в основном посвящены уникальным, флагманским объектам, полученные выводы в полной мере применимы и к массовому строительству – типовым жилым и общественным зданиям. В последнее десятилетие BIM-технологии постепенно перестают быть прерогативой мегапроектов и проникают в рядовые проекты средней и малой сложности. Драйвером выступают как требования рынка (давление сроков, конкуренция по стоимости), так и политика властей, направленная на повышение эффективности строительства. Например, рост потребности в жилой застройке стимулирует застройщиков внедрять BIM для ускорения проработки проектов и снижения издержек – BIM уже рассматривается как необходимый инструмент девелоперов жилья для сокращения сроков и затрат. Многие преимущества, описанные выше, одинаково актуальны для типового дома, что и для музея или стадиона: координация инженерных систем позволяет избежать ошибок на стройке, 3D-модель облегчает понимание проекта всеми участниками, сметные данные из модели

уменьшают финансовые сюрпризы, а передача модели эксплуатационной службе улучшает обслуживание здания.

Безусловно, степень зрелости BIM-подходов в массовом секторе пока ниже, чем в элитных проектах. Малые архитектурные бюро и подрядчики не всегда имеют ресурсы и опыт, чтобы полностью реализовать BIM-потенциал. Статистика показывает, что мелкие фирмы отстают: если среди крупных компаний в развитых странах внедрение близко к 100%, то среди небольших – лишь около трети применяют BIM-инструменты. Это объясняется упомянутыми барьерами – ограниченным бюджетом, дефицитом квалифицированных кадров, консервативностью отрасли. Однако тенденция ясна: даже типовые проекты всё чаще включают требование BIM от заказчика (особенно государственные). В ряде стран (Скандинавия, Сингапур, Великобритания) использование BIM предписано для любых значимых объектов, включая школы, больницы, серийное жильё. Отраслевые отчеты отмечают, что BIM постепенно становится «новой нормой» (“business as usual”) в широком строительстве: в Великобритании ожидают достижения этого статуса в течение ~5 лет.

Применение выводов нашего анализа к массовой застройке позволяет прогнозировать, что эффекты BIM будут масштабированы на весь строительный сектор, хотя и с иными относительными показателями. Например, в типовом жилом доме может не быть экстремально сложной формы, но выгоды координации (меньше коллизий между коммуникациями) принесут экономию времени и средств столь же реально. BIM позволит типовым застройщикам лучше контролировать качество работ, более точно рассчитывать потребности в материалах (снижая перерасходы), и предоставит управляющим компаниям готовые цифровые модели для эксплуатации домов. Уже сейчас существуют примеры массового применения BIM: крупные девелоперы переводят портфели типовых проектов на BIM, типовые серии домов проектируются в 3D с привязкой ко всем инженерным подсистемам, а строители осваивают работу с моделями на площадке через мобильные приложения. Конечно, массовый сегмент сталкивается с дополнительными трудностями – например, небольшие подрядчики могут сопротивляться введению новых процессов, отсутствует возможность держать большой BIM-отдел, – однако эти проблемы преодолимы при поддержке со стороны более крупных партнеров и государственных инициатив.

В целом, преимущества BIM, доказанные на уникальных объектах, постепенно становятся достоянием всей отрасли, включая типовую застройку. От стандартных многоэтажек до коттеджных поселков. Массовое строительство выиграет от цифровизации, хотя путь к всеобщему внедрению еще продолжается. Большинство экспертов сходятся во мнении, что в ближайшие годы BIM станет таким же обязательным и обыденным элементом проекта, как сегодня САПР, – для этого необходимы лишь время и накопление опыта.

ГЛАВА 2. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ BIM НА ГОСУДАРСТВЕННОМ УРОВНЕ

2.1 Теоретические основы внедрения BIM на государственном уровне

Понятие и особенности государственного внедрения BIM

Building Information Modeling (BIM) рассматривается как ключевой элемент цифровизации строительной отрасли. На государственном уровне внедрение BIM означает системное распространение этих технологий по всей отрасли при ведущей роли органов власти. Иначе говоря, речь идет о **макро-уровне** адаптации BIM – охватывающем множество организаций в масштабе рынка или страны [111]. Это существенно отличается от внедрения BIM в отдельных компаниях или проектах и требует особых подходов. Государственные органы (как крупнейшие заказчики и регуляторы) выступают катализатором изменений, устанавливая единые стандарты, нормативы и стимулирующие условия для участников отрасли [112].

С точки зрения публичного сектора, BIM – это инструмент цифровизации строительной сферы, способный принести значительные эффекты для экономики. В официальных инициативах подчеркивается, что BIM повышает эффективность реализации государственных проектов, улучшает отдачу бюджетных средств и конкурентоспособность отрасли [113]. По сути, BIM рассматривается как средство решения хронических проблем строительства – низкой производительности, перерасходов, несогласованности, а также как база для перехода к «цифровому строительству» (digital construction) на национальном уровне [114]. Государственное внедрение BIM характеризуется разработкой комплексных программ (дорожных карт), созданием институциональных структур (рабочих групп, центров компетенций) и обязательным применением BIM в публичных проектах.

2.1.1 BIM в контексте трендов в государственном развитии

Внедрение BIM на государственном уровне не является изолированным процессом. В мировой практике он встроен в более широкие стратегические направления, определяющие развитие национальных экономик и городских систем. Анализ литературы и международных кейсов позволяет выделить четыре макротренда, в контексте которых государства рассматривают BIM (Рис.26).



Рисунок 26. BIM в контексте мировых трендов развития

Цифровизация. BIM всё чаще трактуется как базовая инфраструктура цифрового правительства и цифровой экономики. Информационные модели интегрируются в системы электронных услуг, автоматизированной экспертизы проектной документации и управления государственным имуществом. На городском уровне BIM становится ядром концепций цифровых двойников и Smart City, обеспечивая связь между строительным сектором и урбанистическими платформами (например, CIM — City Information Modeling). Таким образом, BIM выступает не отдельной технологией, а частью комплексной цифровой трансформации государственного управления [115; 116].

Устойчивое развитие. BIM активно используется для достижения целей устойчивого развития, включая экологические, экономические и социальные аспекты. С его помощью обеспечивается энергоэффективность и экологичность зданий, снижается углеродный след, автоматизируется оценка соответствия «зелёным» стандартам. Экономическая эффективность выражается в сокращении издержек и сроков строительства, повышении прозрачности расходов. Социальная составляющая проявляется в повышении безопасности, качества городской среды и надёжности инфраструктуры. Таким образом, BIM становится инструментом реализации Целей устойчивого развития ООН (ЦУР 9, 11, 13) [117].

Демократизация. Цифровые модели зданий и городов повышают прозрачность государственного сектора и вовлечённость общества в процессы планирования. BIM позволяет фиксировать все изменения в проектах, снижает риски коррупции и нецелевого использования средств.

Кроме того, публикация и визуализация BIM-данных обеспечивает доступность информации для граждан, формируя условия для общественного контроля и участия в принятии решений. Таким образом, BIM служит не только инструментом технической оптимизации, но и фактором укрепления демократических институтов [118].

Глобализация и стандартизация. BIM является проводником международных стандартов (IFC, ISO 19650 и др.), что делает строительные отрасли разных стран совместимыми в рамках единой цифровой среды. Это открывает доступ к транснациональным проектам, облегчает привлечение инвестиций и участие в международных инфраструктурных инициативах. Государства рассматривают BIM как средство повышения конкурентоспособности своих компаний на мировом рынке, что особенно заметно в стратегиях Евросоюза, Великобритании и в деятельности Global BIM Network [113].

Таким образом, BIM на государственном уровне выступает не как узкая технологическая инновация, а как стратегический инструмент, встроенный в четыре взаимосвязанных макротренда: цифровизацию, устойчивое развитие, демократизацию и глобализацию. Именно это объясняет, почему национальные BIM-программы поддерживаются на высоком политическом уровне и включаются в долгосрочные стратегии развития.

2.1.2 Необходимость государственного участия

Активная роль государства в развитии BIM обусловлена целым рядом причин. Традиционно строительная отрасль отличается консерватизмом и медленным внедрением инноваций [114]. Без внешнего импульса многие организации не решаются инвестировать в новые технологии, особенно в условиях фрагментированного рынка строительства. Исследования подтверждают, что распространение BIM зачастую ограничивается крупнейшими компаниями, обладающими ресурсами и компетенциями, тогда как малые и средние предприятия отстают [119]. Такой дисбаланс ведет к технологической разобщенности и тормозит общий прогресс. По сути, рынок сам по себе не обеспечивает повсеместного перехода на BIM из-за множества барьеров, и здесь требуется направляющее влияние государства.

К типичным барьерам внедрения BIM, зафиксированным в научной литературе, относятся: отсутствие спроса со стороны заказчиков, высокие начальные затраты, недостаток знаний и навыков, организационное сопротивление изменениям, а также пробелы в нормативном регулировании [120]. Например, если заказчик не требует BIM-модели, подрядчики не мотивированы ее создавать – по опросам, *непредъявление требований со стороны клиентов* является одним из главных препятствий [121]. Государство же зачастую выступает крупнейшим клиентом в строительстве (финансируя общественную инфраструктуру, жилые программы и т.д.), поэтому введение BIM-требований в систему госзакупок сразу меняет

ситуацию. Так, правительство Великобритании, внедрив требование BIM Level 2 для всех государственных проектов с 2016 г., добилось роста уровня использования BIM в отрасли до 73% к 2020 году [112]. Этот пример демонстрирует, что публичный спрос способен радикально ускорить диффузию новых технологий.

Другой барьер – дефицит стандартов и единой методологии. Без общепринятых стандартов информационных моделей (форматов данных, классификаторов, требований к уровню проработки и пр.) каждый участник рынка может применять BIM по-своему, что затрудняет сотрудничество. Государство способно решить эту проблему, разработав или приняв национальные стандарты BIM (например, на базе международных ISO 19650 или открытых форматов IFC) и выпустив единые руководства по внедрению [112]. Кроме того, государственное регулирование снимает правовые и контрактные неопределенности: обновляются типовые договоры, прописывающие ответственность сторон при использовании BIM, вопросы авторского права на модель, требования к ее составу и др. [112].

Отдельно стоит упомянуть финансово-технологический барьер. Внедрение BIM требует инвестиций в программное обеспечение, мощные компьютеры, обучение персонала – для небольших фирм это серьёзная нагрузка [120]. Государство может облегчить этот переход, предоставляя стимулирующие меры: субсидии на обучение, льготные условия участия в тендерах для использующих BIM, финансирование пилотных проектов. Недостаток квалифицированных кадров также сдерживает прогресс – многие компании сталкиваются с нехваткой специалистов по BIM и высокой стоимостью их подготовки. Здесь важна роль государства в реформировании образовательных программ и развитии профессиональных стандартов (об этом см. ниже).

Не менее значима стратегическая мотивация государства: BIM рассматривается властями как средство достижения общественно значимых целей. Например, применение BIM-технологий позволяет: - улучшить *контроль стоимости и сроков* на этапе строительства за счет точных данных и уменьшения числа изменений проекта, - обеспечить *прозрачность* и прослеживаемость при реализации госзаказов, - достичь *экологических целей* – информационные модели дают возможность проводить энергоэффективный анализ, оптимизировать материалы, снижать отходы и углеродный след строительства [122].

Как отмечается в аналитических обзорах, национальные BIM-программы способны поддержать цели устойчивого развития, так как с их помощью улучшается оценка экологических последствий проекта на протяжении полного жизненного цикла здания [122]. Например, моделирование в BIM облегчает достижение нормативов по энергоэффективности и климатическим обязательствам благодаря более точным расчетам энергопотребления, оптимизации конструктивных решений и уменьшению перерасхода материалов [122]. Для государств, принявших международные цели по сокращению выбросов и повышению устойчивости

инфраструктуры, масштабное внедрение BIM становится инструментом реализации этих обязательств.

Наконец, государственное участие необходимо и для координации многочисленных стейкхолдеров строительного сектора в ходе цифровой трансформации. Стройотрасль включает большое число разрозненных участников – от инвесторов и проектировщиков до подрядчиков и эксплуатирующих организаций – и всем им требуется согласованно перейти на новые технологии. Органы власти способны объединить усилия, организовав рабочие группы, форумы и пилотные проекты, где вырабатываются общие подходы и преодолевается недоверие к инновациям [113]. За счёт такого “объединяющего” влияния государства удастся избежать ситуации, при которой каждая компания действует в одиночку, – напротив, создается эффект синергии и обмена лучшими практиками в масштабе всей отрасли [113],

ВЛИЯНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ВНЕДРЕНИЯ BIM НА ПРЕОДОЛЕНИЕ БАРЬЕРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ



Рисунок 27. Влияние национального внедрения BIM на преодоление барьеров использования технологии.

Таким образом, государственное вмешательство критически важно для системного развития BIM. Оно обосновано объективными барьерами рынка и нацелено на достижение общественных выгод – повышение эффективности строительства, качества городской среды и устойчивости развития (Рис.27). В отсутствии государственной поддержки внедрение BIM было бы фрагментарным и неравномерным, ограничиваясь узким кругом энтузиастов, тогда как при активной политике появляется возможность перевести всю отрасль на новые рельсы.

2.1.3 Модели внедрения BIM

В научной литературе BIM рассматривается как центральный элемент цифровой трансформации строительной отрасли. При этом применяются различные концептуальные модели, каждая из которых выделяет собственные механизмы и факторы успеха внедрения. На основе анализа международных источников их можно систематизировать в четыре стратегии (Рис.28).



Рисунок 28. Основные модели внедрения BIM на национальном уровне

Внедрение с упором на массовый охват эта стратегия восходит к теории диффузии инноваций [123], где наиболее ощутимым является процесс распространения новых технологий через последовательные группы пользователей: от новаторов к большинству и далее к отстающим. BIM в этом подходе трактуется как инновация, успех которой определяется способностью достичь критической массы пользователей. Особенность применения теории к BIM состоит в том, что скорость диффузии здесь зависит не только от рыночной динамики, но и от нормативных требований и политических стимулов. Фактор успеха — массовое вовлечение рынка через обязательные требования или сильное институциональное давление. (Примеры: Великобритания, Южная Корея; частично — Россия).

Внедрение с упором на координацию и контроль. Эта стратегия опирается на концепции зрелости BIM [20; 124]. В рамках данного подхода BIM рассматривается как индикатор уровня развития отрасли или государства: зрелость оценивается по наличию стандартов, органов управления, профессиональной подготовки, инфраструктуры данных. Здесь акцент делается не столько на охвате пользователей, сколько на системности и управляемости процесса. Фактор успеха — создание нормативно-методической базы и институциональной координации, которая обеспечивает согласованное движение всех участников. (Примеры: Сингапур, Финляндия, Норвегия; напротив, Малайзия).

Внедрение с упором на интеграцию с цифровизацией. Данный подход соотносится с концепцией Industry 4.0 и Construction 4.0 [116]. BIM здесь

понимается как базовая цифровая инфраструктура, которая объединяет данные и служит ядром для интеграции других технологий — интернета вещей, искусственного интеллекта, роботизации, цифровых двойников. Стратегия фокусируется на том, что BIM не изолированная технология, а часть комплексной цифровой трансформации отрасли и экономики. Фактор успеха — интеграция BIM с другими цифровыми технологиями, формирование сквозных процессов на всех стадиях жизненного цикла объектов. (Примеры: Германия, Франция, Китай; Индия).

Внедрение с упором на развитие лидеров. Эта стратегия основана на институциональных теориях и концепциях управления изменениями [118]. BIM в таком ключе рассматривается как социотехническая инновация, успешность которой определяется изменением организационной культуры и практик взаимодействия. В центре внимания находятся «чемпионы изменений» — отдельные организации, профессиональные сообщества и лидеры отрасли, которые формируют новые нормы и стандарты. Фактор успеха — наличие лидеров и вовлечённость профессионального сообщества, обеспечивающих институционализацию новых практик. (Примеры: США, Нидерланды).

Таким образом, в мировой практике можно выделить четыре модели внедрения BIM: через массовый охват, через централизованную координацию, через интеграцию с цифровизацией и через развитие лидеров. В разных странах преобладает одна из этих стратегий, однако элементы могут сочетаться. На практике это означает, что внедрение редко следует «чистой» модели: государства комбинируют меры стимулирования массового охвата с институциональной координацией или с поддержкой лидеров рынка, формируя гибридные траектории цифровой трансформации.

2.1.4 Механизмы внедрения BIM

Государственный уровень внедрения BIM реализуется через совокупность институциональных и нормативных механизмов управления. Эти механизмы образуют своего рода “дорожную карту” цифровой трансформации отрасли. Рассмотрим некоторые из них, опираясь на современные модели и практики (2020–2025 гг.):

Национальная стратегия и политика в области BIM. Многие страны начинают с разработки стратегического плана – национальной BIM-стратегии или программы цифровой трансформации строительства, где BIM занимает центральное место. Такая стратегия обычно определяет цели (например, доля проектов с BIM, экономия средств, рост производительности), этапы и сроки внедрения, а также ответственные институты. К примеру, в Германии инициатива “*Planen Bauen 4.0*” представляет собой совместный проект государства и бизнеса, направленный на стандартизацию BIM и фазный переход отрасли к “Цифровому строительству” [122]. Этот план включен в общенациональную цифровую стратегию («Цифровая стратегия 2025») и предусматривает поэтапное

внедрение BIM в инфраструктурных проектах до достижения обязательного статуса BIM к 2020 г. [125]. Подобные программы дают высокий уровень политической поддержки и являются отправной точкой для конкретных мер.

Институциональные структуры и координация. Для управления внедрением BIM государство нередко создает специальные организационные структуры. Это могут быть межведомственные комиссии, программные офисы, центры экспертизы или публично-частные партнерства. Их задачи – координировать участников, накапливать знания, разрабатывать рекомендации и мониторить прогресс. Пример – EU BIM Task Group в Европе, объединяющая представителей публичных заказчиков разных стран для обмена лучшими практиками и выработки общих принципов [113]. На национальном уровне существуют подобные группы: в Нидерландах это BIM Loket – центральная платформа, созданная совместно правительством, строительной индустрией и академическим сектором для продвижения стандартов и согласования усилий. BIM Loket занимается развитием открытых BIM-стандартов, поддержкой исследований и сертификационных программ, а также интеграцией BIM с технологиями цифрового двойника и умного города. В Норвегии роль драйвера взяла на себя государственная компания Statsbygg (крупнейший заказчик недвижимости); с 2008 г. она непрерывно обновляет требования к BIM в проектах, выпуская подробные BIM-руководства, технические спецификации и стандарты обмена данными, а также учитывая цели устойчивости и эксплуатации зданий [122]. В Великобритании после завершения первоначальной программы Level 2 был создан Центр цифрового построенного окружающего мира (Centre for Digital Built Britain) при поддержке правительства, который осуществлял методологическое сопровождение перехода к следующему этапу (цифровые двойники, “BIM Level 3”). Таким образом, институциональные механизмы – это создание структур, ответственных за методическое обеспечение и взаимодействие участников рынка при внедрении BIM.

Разработка стандартов и нормативов BIM. Базисом для единообразного внедрения служат национальные стандарты BIM. Государство либо разрабатывает собственные стандарты, либо адаптирует международные. Например, в США с 2007 г. выпускается Национальный стандарт BIM (NBIMS-US), который определяет структуру информационных моделей, форматы обмена данными (IFC, COBie и др.) и связанные классификаторы [122]. NBIMS-US был добровольным, но принят многими федеральными ведомствами и фактически стал де-факто стандартом для госстроек [122]. В Европе распространена адаптация британских спецификаций (PAS/BS) и международного стандарта ISO 19650, устанавливающего требования к управлению информацией на протяжении жизненного цикла строительства. Например, UK BIM Framework – актуальная система стандартов Великобритании – основана на ISO 19650 и включает детальные протоколы, руководства по управлению информацией, требования к безопасности данных и пр. Этот фреймворк сформирован при участии Британского института стандартов (BSI) и служит ориентиром для многих других стран. В

целом, государство обеспечивает нормативную основу: выпуская стандарты, руководства и типовые регламенты по BIM, оно создает единый язык и правила игры для рынка. Исследователи подчёркивают неизбежность разработки четких руководящих документов по BIM, учитывающих национальную специфику, поскольку слепое копирование зарубежных норм не всегда эффективно. Именно поэтому во многих странах появились собственные **BIM-гайдлайны**: например, Дания выпустила набор из четырёх BIM-руководств для проектов (по 3D моделированию, методологии работы, соглашениям и структуре объектов), Финляндия разработала обширное руководство с общими процедурами и требованиями к моделям, а в США изданы практические пособия для подрядчиков по началу работы с BIM. Все эти документы направлены на устранение неопределенности и повышение предсказуемости при реализации BIM-проекта [112].

Обновление нормативно-правовой базы и контрактных отношений. Переход на BIM требует адаптации множества существующих правил в строительстве. Государственные органы в ответ разрабатывают изменения в градостроительные нормы, правила проектирования, стандарты отчетности, чтобы учет цифровых моделей стал частью обязательных процедур. Например, некоторые страны вводят требование прикладывать BIM-модель при получении разрешения на строительство (электронная экспертиза проектов на основе модели). Сингапур одним из первых обязал электронные BIM-подачи документов для крупных проектов в рамках системы e-Submission, интегрированной с автоматизированной проверкой соответствия нормам. Также важно модернизировать контрактные формы: традиционные строительные контракты дополняются положениями о совместном использовании модели, ответственности за ее актуальность, порядке внесения изменений и пр. Великобритания, например, еще в ходе программы Level 2 ввела концепцию “Government Soft Landings” – требований к передаче модели на этап эксплуатации, которая закреплялась контрактно. Таким образом, правовая система эволюционирует, устраняя барьеры для применения BIM на каждом этапе жизненного цикла проекта.

Образовательные и кадровые инициативы. Ведущим принципом является развитие человеческого капитала для BIM. Государство внедряет BIM не только административными мерами, но и через системы образования и повышения квалификации. Современные теоретические модели подчёркивают важность интеграции BIM в учебные программы университетов и колледжей. Исследование 2023 г. показало, что встроить BIM в образовательные программы – это наиболее критичная стратегия по мнению отраслевых экспертов. Такой шаг позволит подготовить новое поколение специалистов, владеющих методами информационного моделирования, и снять проблему нехватки квалифицированных кадров [112]. На практике это реализуется через обновление государственных образовательных стандартов, открытие новых профильных магистратур и курсов по BIM, а также сертификацию специалистов. Например, Франция в рамках программы PTNB уделила особое внимание обучению малого

бизнеса и доступности знаний: организованы региональные центры компетенции, онлайн-платформы для обмена опытом. В Великобритании и США существуют системы профессиональной сертификации по BIM, поддерживаемые государством совместно с отраслевыми организациями. Кроме того, государственные структуры сами инвестируют в обучение своих сотрудников и требование BIM-компетенций при найме. В развивающихся странах одним из предложений является создание BIM-институтов при поддержке правительства для подготовки молодых специалистов и переподготовки кадров. В совокупности эти меры обеспечивают *“выравнивание”* уровня знаний в отрасли – ведь для успешной цифровой трансформации важно, чтобы не только лидеры, но и широкий круг участников имел необходимую экспертизу [122].

Пилотные проекты и демонстрация выгоды. Теория инноваций подчеркивает значение пилотирования и распространения лучшего опыта. Государство может инициировать пилотные BIM-проекты (наиболее показательные), чтобы продемонстрировать всем стейкхолдерам практические выгоды технологии. Выявлено, что запуск пилотных проектов с целью показать доказанные преимущества BIM – одна из приоритетных стратегий, рекомендованных для государственных органов [112]. Такие проекты зачастую финансируются или софинансируются государством, тщательно документируются (case studies) и публикуются в открытом доступе. Например, в ряде стран были проведены показательные проекты: строительство школ, больниц, дорог с применением BIM, по итогам которых были зафиксированы сокращение сроков, экономия бюджета, повышение качества. Эти данные используются как аргументация для дальнейшего расширения BIM. Кроме того, пилоты позволяют протестировать новые стандарты и процессы, выявить узкие места (например, проблемы интеграции данных между разными участниками) и доработать нормативную базу перед массовым масштабированием.

Стимулы и экономические рычаги. Помимо обязывающего характера, правительства могут применять стимулирующие меры. Сюда относятся гранты и субсидии на внедрение BIM (например, на приобретение ПО и оборудования для малого бизнеса), налоговые льготы для *“цифровых”* проектов, премии и рейтинги за инновации. Еще один инструмент – финансирование R&D и конкурсных проектов в области BIM. Так, французский план PTNB предусматривал финансирование на исследования и разработки, связанные с BIM и взаимодействием с экологическим законодательством. Европейская комиссия поддерживала проекты по развитию общих BIM-принципов, что привело к выпуску *“Handbook for BIM Implementation by Public Sector”* (2017). В целом, сочетание *“кнута”* (обязательные требования) и *“пряника”* (поддержка и поощрение) формирует благоприятную среду для массового перехода на BIM.

Обязательные требования (мандаты) на использование BIM. Один из самых прямых инструментов – введение обязательного требования применять BIM в государственных закупках и проектах с бюджетным

финансированием. Правительственные BIM-мандаты уже стали реальностью во многих юрисдикциях. Как правило, мандат означает, что с определенной даты все новые проекты определенного вида (например, общественные здания, транспортная инфраструктура) должны разрабатываться с использованием BIM на заданном уровне детализации. В Великобритании, например, с 2016 г. действует требование уровня BIM Level 2 для всех централизованно закупаемых госстроек. В ряде стран введение мандатов было поэтапным: Германия в 2017–2020 гг. последовательно расширяла перечень объектов, обязанных использовать BIM; во Франции “Plan BIM 2022” предполагал поэтапное повышение требований к цифровому проектированию. В России к 2022 г. нормативно закреплено использование BIM в федеральных строительных проектах. Кроме национальных, встречаются региональные и ведомственные мандаты (например, требования отдельных министерств, крупных городов или государственных заказчиков) [120]. Главное назначение мандата – создать гарантированный спрос на BIM со стороны государства и тем самым подтолкнуть всю цепочку подрядчиков к освоению технологий. Однако эффективность мандатов зависит от сопровождения их другими мерами (см. раздел о критике).



Рисцнок 29. Основные механизмы внедрения BIM на национальном уровне

Можно сказать, что институционально-нормативные механизмы образуют целостную экосистему внедрения BIM на уровне государства (Рис.29). Современные модели подчеркивают необходимость комплексного подхода: нормативы и стандарты должны сопровождаться образовательными усилиями, требования – поддержкой, а контроль – партнерским взаимодействием с рынком. Только при условии согласования всех перечисленных рычагов можно добиться не формального, а реального и устойчивого внедрения BIM в масштабах отрасли.

2.1.5 Проблемы национальных программ внедрения BIM

Надёжность эффектов национальных программ по внедрению BIM определяется не только наличием мандатов, но и качеством управленческой реализации. Если допускать ряд типичных ошибок, программы закономерно производят предсказуемые проблемы, ослабляющие как отраслевую трансформацию, так и общественную отдачу (Таблица 6).

Таблица 6. Наиболее распространенные проблемы возникающие при внедрении BIM в государственном масштабе и их возможные причины

Возможные причины	Проблема
Жёсткие мандаты без стимулов; низкая мотивация участников; инерция старых процессов; разрыв между нормативами и практикой.	Формальное внедрение без реальной трансформации
Высокие издержки внедрения; ограниченные ресурсы МСП; отсутствие программ поддержки; концентрация преимуществ у крупных компаний.	Неравномерный охват и отраслевое расслоение
Отсутствие KPI и мониторинга; декларативные цели; размытая ответственность; отсутствие прозрачности результатов.	Слабая реализация заявленных целей программ
Фрагментация стандартов; слабая интероперабельность; зависимость от вендоров; слабая координация между ведомствами.	Сложности совместной работы и обмена данными
Отсутствие интеграции BIM с FM/Asset Management; низкое качество данных; слабая дисциплина CDE; слабые связи с различными участниками отрасли;	Ограниченная интеграция в отрасль
Избыточные бюрократические требования; смещение рисков на субподрядчиков; правовая неопределённость (данные, ответственность, авторское право).	Рост административной нагрузки и конфликтов

Жёсткие мандаты без экономических стимулов и механизмов управленческой интеграции, в сочетании с низкой мотивацией участников, инерцией сложившихся процедур и разрывом между нормативными требованиями и контрактной/закупочной практикой, приводят к

формальному соответствию требованиям (в литературе нередко обозначается как BIM-wash). В этом режиме информационные модели создаются преимущественно «для отчётности», не становясь «единым источником достоверных данных» для процессов планирования, координации и принятия решений. Результат — не реализация, а имитация заявленных выгод, рост транзакционных издержек и нарастание организационной фрустрации [118; 126].

Высокие издержки входа, ограниченные ресурсы малых и средних предприятий и отсутствие адресных программ поддержки формируют неравномерный охват и «двухскоростную» отрасль. Преимущества цифровизации концентрируются у крупных компаний, в то время как МСП вытесняются из контрактов с повышенными BIM-требованиями или воспроизводят минималистские практики, не создающие добавленной ценности. Это снижает конкуренцию и инновационность цепочек поставок, затрудняет масштабирование стандартов качества и, в конечном счёте, подрывает общенациональные цели повышения эффективности строительства [115].

Отсутствие операционализированных показателей результатов (KPI), непрозрачность мониторинга и размытая ответственность между ведомствами и заказчиками ведут к слабой реализации заявленных эффектов программ. Возникает «разрыв выгод» (benefits-realization gap): экономия, сокращение сроков, снижение количества запросов на информацию и коллизий, ускорение согласований и повторное использование моделей на стадии эксплуатации не фиксируются надёжно и не подтверждаются независимо. В такой конфигурации невозможно управлять программой по данным, корректировать инструменты политики и поддерживать её легитимность [127].

Фрагментация стандартов и требований между заказчиками, слабая интероперабельность и зависимость от закрытых решений при недостаточной межведомственной координации порождают устойчивые сложности совместной работы и обмена данными. Потери атрибутов при конвертации, дублирование поставок, ручные правки и замедление согласований увеличивают транзакционные издержки и риски ошибок. Даже наличие формальных рамок (например, на основе подходов к зрелости процессов и управления информацией) не даёт эффекта без согласованной реализации принципов обмена и дисциплины работы в среде общих данных (CDE) [115; 127].

При отсутствии интеграции BIM с системами управления активами и эксплуатационными платформами (FM/AM, CMMS/EMS), при низком качестве исходных и актуализированных данных и слабой дисциплине CDE использование моделей на стадии эксплуатации оказывается ограниченным. Цифровой «паспорт» актива не формируется, сведения теряют актуальность, а заявленные «жизненно-цикловые» эффекты (снижение затрат владения, повышение надёжности и управляемости фонда) остаются нереализованными [128].

Избыточные бюрократические требования, смещение рисков на субподрядчиков и правовая неопределённость в отношении статуса модели, распределения прав на данные и авторско-правовых режимов усиливают административную нагрузку и конфликтность. Отсутствие договорной фиксации режимов доступа, версионирования и ответственности за изменения данных повышает вероятность споров и препятствует развитию доверительной совместной работы [126; 129].

Тем самым, допущение перечисленных ошибок системно воспроизводит проблемы национального внедрения BIM: формализацию без трансформации, отраслевое расслоение, недоказанность выгод, сбои интероперабельности и совместной работы, утрату ценности на стадии эксплуатации и рост конфликтов. Это неблагоприятно не только потому, что снижает эффективность отдельных проектов, но и потому, что препятствует накоплению отраслевого человеческого и информационного капитала, подрывает доверие к политике цифровизации и ограничивает потенциал повышения производительности строительного сектора в целом.

2.2 Обзор мирового опыта внедрения BIM в национальном масштабе

От теоретического описания механизмов государственного внедрения BIM перейдём к исследованию мирового опыта. Необходимо проверить, как описанные механизмы внедрения проявляются в реальной практике. Такой подход необходим не только для иллюстрации основных теоретических положений, но и для их верификации на эмпирическом материале.

Мировой опыт важен по двум причинам. Во-первых, он позволяет снизить неопределённость при разработке государственной политики: видно, какие решения дают устойчивый результат, а какие порождают издержки. Во-вторых, он задаёт реалистичные ориентиры по срокам, ресурсам и ожидаемым эффектам, что облегчает планирование и последующую оценку прогресса. В национальных планах такие ориентиры превращаются в набор проверенных инструментов — регуляторных требований, стандартов, форм поддержки, моделей финансирования и пилотных проектов; сопоставление разных контекстов помогает понять, при каких институциональных настройках эти инструменты работают надёжнее и как их адаптировать к местным условиям.

Чтобы анализ примеров был объяснительным, а не описательным, необходимо удерживать причинно-следственные связи между исходными условиями, организацией программы и достигнутыми результатами. В настоящем разделе мы последовательно движемся «от общего к частному»: сначала фиксируем **системные условия отраслевой среды** (социально-экономическая база, параметры строительного рынка, технологическая готовность), затем рассматриваем **организацию программы со стороны уполномоченных институтов** (диагностика, цели, управление, финансирование), после чего переходим **к конкретным мерам и их эффектам**

(требования к применению BIM, стандартизация, поддержка, пилоты, измеримые показатели эффективности). Такой порядок позволяет не только зафиксировать, что сделано, но и объяснить, почему это сработало или, напротив, дало ограниченный эффект.

Далее по единым критериям сопоставления будут разобраны США, Великобритания и Сингапур как признанные ориентиры политики в области BIM, а также Малайзия, Китай и Россия как приеры развивающихся стран. Сопоставимость обеспечивается одной и той же логикой разбора: исходные условия, организационная модель реализации, набор мер и наблюдаемые результаты в сопоставимый период первых государственных программ. Это создаёт основу для сводной оценки сильных и слабых сторон национальных траекторий и для формулирования практических выводов, применимых к казахстанскому контексту.

2.2.1 Методика обзора мирового опыта

Подход исследования опирается на трёхчастную модель: сначала рассматриваются системные условия, затем организационная модель реализации, после чего анализируются регуляторные меры и показатели. Такая последовательность отражает причинно-следственные связи: базовые условия задают «правила игры» для организации программы, а от выбранной организационной модели зависит результативность конкретных мер и измеримых исходов.

Условия внедрения описывают отраслевую среду и потенциал внедрения. Учитываются социально-экономические параметры (индекс демократии как индикатор качества диалога государства с индустрией и академией; индекс восприятия коррупции, где более высокие значения соответствуют меньшим проявлениям; ВВП на душу населения как прокси уровня развития), характеристики строительного рынка (вклад отрасли в ВВП, средняя стоимость квадратного метра как косвенное отражение технологичности и производительности, рентабельность как маркер конкуренции и отношения к риску) [130], а также технологическая готовность: доля применения BIM в практике, наличие референсных реализованных проектов, оценки зрелости BIM [131]. Дополняет картину публикационная активность (например, по данным Scopus) как показатель экспертной поддержки и потенциала методического сопровождения.

Организационные факторы определяют, как именно выстраивается программа. На начальном этапе проводится диагностика: срез состояния отрасли и степени проникновения BIM, обзор международного опыта, формулирование концепции с чёткими целями и задачами. Далее фиксируются управленческие контуры: распределение ролей и ответственности, состав и мандат рабочих групп, механизмы вовлечения стейкхолдеров и каналы взаимодействия с рынком. Отдельно задаётся финансовая конфигурация — источники и объёмы ресурсов, принципы их распределения, наличие экономической заинтересованности оператора

программы в успехе. Практика показывает эффективность целевых фондов, адресующих «узкие места» внедрения (субсидирование пилотов, подготовка кадров, разработка и апробация стандартов) [132].

Предпринятые меры и достигнутые показатели фиксируют ход программы и её эффекты. К наиболее значимым мерам относятся государственная политика и мандаты на применение BIM (в госзаказе и/или шире — в гражданском строительстве) при обязательном сопровождении поддерживающими инструментами [131]; информационная, организационная и материальная поддержка для формирования спроса, компенсации издержек перехода, подготовки квалифицированных специалистов и методической помощи в «правильной» постановке процессов [133]; стандарты и лучшие практики, от которых зависит степень автоматизации и общая эффективность технологии. Стандарты должны опираться на локальные и международные успешные кейсы и регулярно обновляться по мере эволюции BIM и смежных процессов [134]. Существенную роль играют пилотные проекты: они формируют устойчивую практику и общественное доверие; важны масштаб и статус объектов, а также открытость данных и извлечённых уроков [135]. В качестве показателей используются уровень зрелости BIM в стране, доля организаций-пользователей, динамика производительности, сокращение сроков и затрат на строительство и эксплуатацию.

Оценивание по каждому из трёх уровней выполнялось сравнительно по шкале «высокий/средний/низкий». Сводные результаты приведены в **табл. 1.**

2.2.1 США.

В США первый этап внедрения проходил в рамках программы National 3D-4D-BIM Program в 2003-2007 гг. США стали первой страной, в которой, была предпринята попытка внедрить BIM в национальном масштабе.

Условия внедрения:

Социально-экономические условия (на 2003): США — одна из лидирующих стран мира как по экономическим, так и по социальным показателям, с развитым демократическим обществом и высоким уровнем технологий. Индекс демократии 77,5 (15 место в мире) [136], индекс коррупции 7.5 (18 место) [137], ВВП на душу населения более 51 500 USD [138].

Состояние индустрии. (на 2003). В США один из крупнейших строительных рынков мира. ВВП строительной индустрии — 525 млрд USD (4,6% от общего ВВП) [139], средняя стоимость строительства на 1 кв. м. — 1 620 USD, средняя стоимость продажи — 1 820 USD [140]. В целом высокая результативность и репутация научной и инновационной деятельности в стране сформировали лояльное, доверительное отношение к новым технологиям, благодаря чему в стране внедряются самые передовые достижения во всех отраслях, в том числе и связанных со строительством. Рентабельность строительной индустрии оценивается в районе 3% [141].

Такой низкий показатель обостряет необходимость в оптимизации всех этапов строительства для сокращения рисков и увеличения прибыли.

Состояние технологии. Стоит начать с того, что сама идея BIM была заложена американским ученым Дугласом Энгельбардом в 1962 [4], а также первые инструменты для компьютерного моделирования. К 2003 году американская компания Autodesk выпустила комплекс программного обеспечения для BIM, включая Revit, накопился достаточно большой опыт использования других решений (Bentley, Archicad, Digital Project), с использованием BIM были осуществлены такие знаковые объекты как Walt Disney Concert Hall (Frank Gehry) (рис.3). В базе данных Scopus содержится информация о более 600 научных работах, посвященных BIM опубликованных к 2003 году. Сведений о проценте использования BIM в 2003 не зафиксировано, поскольку это был первый опыт внедрения в масштабе государства. Уже позже эту статистику стали отслеживать крупные строительные компании и научно-образовательные организации.

Организационные факторы:

Предварительный анализ. Согласно анализу, проведенному Департаментом Коммерции и Бюро Статистики Труда, было установлено, что эффективность строительной индустрии по сравнению с другими отраслями деградировала: так по сравнению с 1964 годом к началу 2000-х она упала более чем на 20%, в то время как другие сектора промышленности увеличили производительность в 2 и более раз. Относительно низкая производительность труда в строительной отрасли в совокупности с высоким уровнем развития информационных технологий в стране подтолкнуло государство к внедрению BIM на национальном уровне.

Организационная структура, принципы и условия работы над внедрением. Разработкой и реализацией программы занималось US General Services Administration (далее GSA) – организация, которая проводила размещение, обслуживание и снабжение всех государственных служб. На момент внедрения в портфеле GSA находилось 193 проекта с общим объемом финансирования 12,4 миллиарда USD (около 2,5% от всего американского строительного рынка). Непосредственно программой занималось отделение GSA - Public Buildings Service (PBS) Office отвечающее за строительство и обслуживание государственных общественных зданий. Кроме GSA и PBS во внедрении участвовали в качестве партнеров и инициативных групп: International Alliance for Interoperability (IAI преобразованной позднее в BuildingSMART), Client BIM Mobilization and Implementation Group, McGraw Hill Construction, National Institute of building science, AIA, Center for integrated Facility Engineering, Stanford University, Autodesk, BIMe, WEBCOR builders, VICO software и другие. Однако в целом процесс происходил в рамках GSA, что ограничило распространение опыта внедрения в период реализации программы.

Финансирование. Финансирование проходило в рамках бюджета GSA (12.4 миллиарда USD) Организация была напрямую заинтересована в сокращении расходов на строительство и увеличение продуктивности труда,

так как непосредственно занимается реализацией строительных проектов из своего бюджета. Для того чтобы оценить порядок возможных вложений можно отметить, что только финансирование необходимое для разработки BIM стандарта оценивается в 25 млн USD [134].

Предпринятые меры и достигнутые показатели:

Государственная политика и мандаты. В связи с тем, что в США каждый штат имеет достаточно высокий уровень самостоятельности, введение общегосударственных мандатов и политик осложнено. В 2006 году использование BIM стало обязательно во всех объектах армии США, с 2009 году был одобрен мандат на использование BIM во всех проектах стоимостью свыше 5 млн. USD в штате Висконсин. В виду такого ограниченного влияния государства степень внедрения на момент завершения программы осталось достаточно низкой, при этом BIM в основном использовали архитекторы на этапе проектирования [142].

Информационная, организационная и материальная поддержка внедрения. Централизованной государственной поддержки внедрения в виде специальных программ, фондов, или инициатив не было организовано, поскольку большая часть проектов была реализована в рамках самой компании или с ее партнерами, однако внедрение отрабатывалось в каждом отдельном случае и поддерживалось через бизнес инструменты PBS и предоставление экспертной поддержки и ресурсов [134].

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Была разработана серия рекомендаций по внедрению BIM в различных сферах, включая: вычисление пространственных характеристик здания, лазерное сканирование, планирование строительных процессов, расчет энергопотребления, доступность и безопасность, эксплуатацию, информационное моделирование элементов здания (BIM Guide Series). Была разработана первая редакция US National BIM Standard. Отдельно стоит отметить, что BIM стандарт США не является и не позиционируется в качестве окончательного документа. Существует определенный цикл продолжительностью около двух лет, в течение которого определяется новая команда разработчиков, формируется организационная структура, обсуждаются и принимаются изменения, затем новая версия публикуется и распространяется, проводится работа по обучению и адаптации и подготовка к новому циклу. При этом каждая версия включает новые идеи и лучший опыт прошедшего периода, а также проходит процесс интеграции с международными стандартами. На данный момент действует 3 версия стандарта и готовится публикация 4-го [134].

Пилотные проекты. Было осуществлено более 100 проектов, включая новое строительство, реконструкцию и реставрацию, однако применение BIM было в большинстве случаев фрагментарным – для выполнения какой-то конкретной задачи.

Количественные показатели. Производительность труда в строительстве в GSA в период с 2001 по 2007 годы увеличилась более чем на 50% [143]. Также можно отметить увеличение эффективности работы самого ведомства – к окончанию программы его штат сократился с 40 000 до 12 500

сотрудников. Уровень внедрения BIM в стране на момент окончания программы в 2007 оказался не слишком высоким – 17%. Уже после окончания программы, в последующие 5 лет резко вырос и достиг 81% в 2012. Причем, более чем в 60% проектов BIM к 2012 году использовали не только две трети архитекторов, но и примерно треть инженеров, подрядчиков и владельцев. В дальнейшем их количество продолжало существенно повышаться – достигнув примерно половины общей доли уже в 2014 [144].

Внедрение BIM в США можно оценить как частично успешное и во многом противоречивое. С одной стороны, именно здесь впервые была предпринята национальная инициатива по применению BIM, сформированы первые стандарты и проведены масштабные пилотные проекты. Благодаря высоким социально-экономическим показателям и технологической базе США стали естественной площадкой для апробации инновации: зрелость строительной индустрии, развитый рынок ПО (Autodesk, Bentley, Graphisoft) и сильная академическая среда позволили создать мощный фундамент. Существенным результатом стала публикация серии BIM-гайдов и Национального стандарта, а также заметное повышение производительности в портфеле проектов GSA.

Однако ограничивающим фактором стал политико-административный контекст. Федеративная система и высокий уровень автономии штатов не позволили ввести единый обязательный мандат на национальном уровне. В результате программа осталась сосредоточенной в рамках GSA, а её эффект распространялся преимущественно на федеральные проекты. Более широкое внедрение произошло позже, уже под влиянием рыночных механизмов и инициатив отраслевых объединений, а не благодаря централизованной государственной политике.

Таким образом, успехи США связаны прежде всего с научно-техническим лидерством, сильной промышленной и образовательной базой, а также активностью отдельных государственных агентств (прежде всего GSA). В то же время отсутствие единой координации и жёстких государственных мандатов существенно замедлило масштабное внедрение. В итоге именно индустрия и профессиональные сообщества, а не государство, стали основным драйвером распространения BIM.

2.2.2 Сингапур.

В Сингапуре внедрение проходило с 2010 по 2015 годы в рамках программы «BIM Roadmap». Впечатляющий опыт Сингапура очень сложно сопоставлять с опытом других стран из-за очень маленькой территории и соответственно компактной управленческой системы. Тем не менее по объёму экономики и, в частности, строительной индустрии и количеству жителей это город-государство вполне сопоставимо, например с Казахстаном.

Условия внедрения.

Социально-экономические условия (2010). Несмотря на то, что уровень демократии в Сингапуре оценивается значительно ниже, чем в США и Великобритании, город государство в 2010 являлось одним из 3-х государств максимально свободных от коррупции. В то же время уровень дохода населения почти в 1,5 раза выше, чем в США и Великобритании. Индекс демократии: 66,6 (39 место в мире), индекс коррупции: 9.3 (1 место в мире), ВВП на душу населения 78 300 USD [136–138].

Состояние индустрии (2010). В значительной мере ориентированный на технологичность, достаточно компактный, но очень конкурентный строительный рынок Сингапура создал отличные условия для внедрения BIM. ВВП строительной индустрии – около 12 млрд USD [145], средняя стоимость квадратного метра – 11 400 USD [146]. Рынок характеризуется достаточно низкими показателями доходности и высоким уровнем конкуренции [147].

Состояние технологии. Меры по внедрению BIM правительство Сингапура начало принимать с 1997 года, тем не менее, на 2012-2013 год (2 года после начала внедрения) уровень использования BIM был менее 10%, хотя уровень осведомленности уже был высок – около 80%. Однако к 2010 году в стране уже существовал опыт проектирования с применением BIM. Одним из знаковых проектов была реконструкция сиднейского оперного театра 2005-2010 годах. К 2010 году был завершен крупнейший курортный комплекс Marina Bay Sands и завершалось строительство Здания Музея науки и искусства (Рис. 4) [23; 148]. Шла подготовка к созданию CORENET - автоматизированной цифровой системы экспертизы документации в формате информационной модели Construction and Real Estate Network.

Организационные факторы.

Предварительный анализ. Выступая в качестве международного хаба, Сингапур был вынужден создать лояльную среду для сферы строительства, адаптированную под разнообразные стандарты стран инвесторов. Традиционный процесс экспертизы при этом очень осложнился, вынудив государство задуматься об автоматизации и цифровизации этих процессов еще в 90-х. Создание автоматизированной цифровой платформы для экспертизы проектов на основе BIM стало одной из задач программы. Другой задачей было достижение 80% использования BIM в строительной индустрии, а также снижение числа иностранных рабочих с низкой квалификацией и увеличение продуктивности труда (на 25%). Общей целью программы было обеспечить лидирующие позиции Сингапура в мировой строительной индустрии.

Отдельно можно упомянуть систему e-Plan Check, на которой тестировались основные принципы работы CORENET. В рамках этой системы была проведена экспертиза ряда пилотных проектов 2004-2006 годах. Таким образом процесс внедрения CORENET шел с опережением по сравнению с внедрением BIM. Несмотря на то, что научных публикаций в области BIM до начала внедрения относительно мало, перед внедрением был изучен зарубежный опыт внедрения BIM на 2010 год [149],

проанализированы и объекты, в которых использование BIM оказалось менее эффективным [150].

Организационная структура, принципы и условия работы над внедрением. Внедрением непосредственно занимались представители Singapore Building and Construction Authority (BCA) в рамках программы BIM Roadmap. Кроме того, в процессе активно участвовали BIM Advisory Panel в состав которой вошли заинтересованные структуры, такие как Singapore Institute of Architects (SIA), Institute of Engineers Singapore (IES), Association of Consulting Engineers Singapore (ACES), BIM Academy of the built environment. Внедрение во многом строилось вокруг применения CORENET, в связи с этим, в отличие от других примеров государство фактически обязало применять BIM практически во всех проектах, на первых этапах – в пределах архитектурного раздела, а затем и в других. Такая жесткая политика компенсировалась очень благожелательными, открытыми и выгодными условиями [131].

Финансирование. Для финансовой поддержки был создан специальный BIM Fund (в составе Фонда повышения производительности и потенциала строительства (CPCF) для внедрения BIM). Размер фонда составлял около 250 млн USD. Фонд частично компенсировал расходы, которые компании вынуждены были нести на обучение, программное обеспечение, оборудование и др., в том случае если внедрение давало положительный эффект. Таким образом, проектные фирмы не только были стимулированы пробовать применять новую технологию, но и делать это методично, в соответствии со стандартами и рекомендациями. Такой метод послужил примером для многих других стран.

Предпринятые меры и достигнутые показатели.

Государственная политика и мандаты. С 2014 года в Сингапуре было введено обязательное цифровое согласование архитектурной и инженерной документации в BIM для проектов более 5000 квадратных футов (около 460 квадратных метров). Таким образом внедрение коснулось практически всей строительной индустрии, кроме индивидуального строительства и привело к практически полному переходу на BIM [131].

Информационная, организационная и материальная поддержка внедрения. За счет средств BIM Fund компаниям, достигшим успешных показателей внедрения, оказывалась помощь в виде частичного покрытия расходов на обучение, консалтинг, аппаратное и программное обеспечение. Кроме того, покрывались расходы по проектам, которые участвовали в тестировании платформ и других экспериментальных этапах программы. Также, BCA привлекла различные высшие учебные заведения к включению обучения BIM в свои учебные программы. В качестве поддержки учебное подразделение BCA - Академия BCA - запустила краткие курсы по BIM. BCA также предоставляла услуги "сопровождающего" тем предприятиям, которые нуждались в помощи при реализации проекта BIM и подаче нормативных документов в первый раз.

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Одной из самых амбициозных задач, решенных в рамках программы и выделивших Сингапур на фоне других государств, внедрявших BIM, стала разработка CORENET и ее внедрение сначала для архитектурного, а затем и инженерных разделов проекта. В связи с этим альтернативой BIM стандартам в Сингапуре послужили Свод правил для электронной подачи BIM (**Codes of Practice for BIM e-Submission**). Серия руководств Singapore BIM Guide, для методической поддержки внедрения были разработаны и выложены в открытый доступ, что до сих пор помогает внедрять BIM во многих странах. «BIM-справочник по Сингапуру» (Building Information Modeling in Singapore) позволил собирать лучшие практики и делиться успешным опытом внедрения [151].

Пилотные проекты. К началу внедрения в Сингапуре уже сформировалось достаточно примеров для выделения лучших практик проектирования зданий. К 2013 году электронную проектную документацию в виде BIM моделей опубликовали более 200 проектов. Отдельные пилотные проекты были направлены на формирование опыта в более узких областях, таких как кадастровые, геодезические, логистические и другие работы [152].

Количественные показатели. В связи с особенностями внедрения уровень использования BIM превысил 80% и уровень зрелости Level 2. Кроме того, возрос уровень научного интереса к данной теме. В то же время надо отметить, что продуктивность труда в строительстве за период внедрения не показала значительного роста (за 5 лет – 4%) [153].

Опыт Сингапура признан одним из наиболее успешных и показательных в мире. В отличие от стран с федеративной структурой управления или слабо централизованной строительной индустрией, компактность и высокая управляемость города-государства позволили реализовать крайне жесткую, но при этом рационально выстроенную стратегию внедрения BIM. Социально-экономический контекст сыграл значительную роль: высокий уровень доходов населения, практически полное отсутствие коррупции и ориентация строительного рынка на технологичность обеспечили благоприятную почву для масштабных реформ.

Ключевым фактором успеха стала последовательная и хорошо продуманная государственная политика. Уже в начале 2000-х годов Сингапур начал экспериментировать с цифровой экспертизой через систему CORENET, и к моменту активного внедрения BIM у государства был накоплен уникальный опыт автоматизации согласовательных процедур. Наличие BIM Roadmap, четко зафиксированных целей (80% внедрения в индустрии), а также жесткого мандата на обязательное использование BIM в проектах площадью свыше 460 м² обеспечили быстрый рост практики.

Не менее важным инструментом стала финансовая поддержка: создание BIM Fund объемом в 250 млн долларов США позволило компенсировать затраты компаний на обучение, программное обеспечение и оборудование, что снизило барьер входа для малого и среднего бизнеса. Такая комбинация жестких требований и щедрых стимулов не только

ускорила внедрение, но и сделала его системным, исключая фрагментарность и добровольность, характерные для других стран.

Сингапур также выделился активной вовлеченностью профессиональных сообществ и образовательных институтов: выпуск серии Singapore BIM Guide, разработка собственных кодов практики для e-Submission, создание обучающих курсов и сопровождение компаний в процессе первых проектов обеспечили методическую и кадровую основу для реформ. В результате уровень использования BIM превысил 80%, а система согласования проектной документации практически полностью перешла в цифровой формат.

Тем не менее эффект оказался не столь однозначным в плане повышения производительности: рост составил лишь около 4% за пять лет. Это показывает, что успехи Сингапура связаны не столько с прямым увеличением эффективности труда, сколько с системным изменением среды: прозрачностью процедур, цифровизацией государственного управления, ростом технологической зрелости и повышением качества проектных решений.

Таким образом, внедрение BIM в Сингапуре можно охарактеризовать как одно из самых успешных и комплексных в мире. Ключевыми факторами стали сильная государственная воля, жесткие мандаты, финансовая и организационная поддержка, а также опора на образовательные и профессиональные структуры. Успех определялся именно синергией между регулятивным давлением и стимулирующими мерами, что позволило в короткие сроки достичь высокой степени зрелости BIM.

2.2.3 Великобритания.

В Великобритании внедрение BIM проходило в рамках программы The UK Government Construction Strategy в 2011-2016 годах. Стоит подчеркнуть, что в данном случае, непосредственно BIM стало лишь частью общей стратегии по реформированию государственного сектора строительства.

Условия внедрения.

Социально-экономические условия (на 2011): Индекс демократии: 79,2 (12 место в мире), индекс коррупции: 7.8 (16 место), ВВП на душу населения более 42 000 USD [136–138] Высокий уровень экономики и общества очевидно представляли благоприятную почву для внедрения

Состояние индустрии (на 2011), ВВП – 110 млрд £ (7% от общего ВВП) , средняя стоимость строительства на 1 кв. м. – £2 100, средняя стоимость продажи - £2 395 [154]. Дополнительно можно отметить, что доля объектов с участием государственного финансирования составляет около 40% строительного рынка (44 млрд £). Рентабельность строительной отрасли около 2,5% [155]. Высокий уровень участия государства в строительном рынке и его низкая прибыльность определила крайнюю заинтересованность властей в повышении его продуктивности.

Состояние технологии. В Великобритании состоялось одно из первых крупных внедрений принципов BIM при строительстве 3-го терминала аэропорта Heathrow [156] с использованием системы RUCAPS (в дальнейшем идея информационного моделирования была интегрирована в работу всех служб аэропорта и строительство новых терминалов). К 2011 году в стране был достаточно высокий уровень научного интереса к BIM – в базе данных Scopus насчитывается более 300 публикаций на данную тему за период с 2000 по 2011 годы. К 2011 году был осуществлен ряд крупных проектов с использованием BIM, например Swansea Sail Bridge, Wembley Stadium [157] (Рис.5). Подробная информация о применении BIM в этих объектах опубликована в научных и популярных изданиях. В рамках грантового финансирования осуществлялся проект «3D to nD Modelling» (British Engineering and Physics Sciences Research Council (EPSRC)) [158]. Уровень использования BIM на 2011 год оценивается в 13%, осведомленности - 45% [159].

Организационные факторы:

Предварительный анализ. Государственная стратегия развития строительства 2011, в рамках которой проводилось внедрение BIM, основана на существовавших на тот момент исследованиях, в которых были выявлены такие проблемы как низкая инвестиционная привлекательность строительной отрасли в виду ее неэффективности и чрезвычайно высокий уровень фрагментации рынка. Большое влияние оказал американский опыт, который был критически проанализирован и интерпретирован [160].

Были поставлены четкие цели, например, снижение стоимости строительных работ, производимых за государственный счет на 20%. Для достижения поставленной цели было инициировано не только внедрение BIM, но более комплексные изменения в работе государства как основного клиента строительной индустрии, в первую очередь – изменение процесса государственных закупок.

Организационная структура, принципы и условия работы над внедрением. Программа The UK Government Construction Strategy развернувшая свою деятельность с 2011 по 2016 год была разработана Группой по эффективности и реформам совместно с Отделом строительного сектора Министерства по инновациям и навыкам бизнеса (BIS) и Инфраструктурой Великобритании (IUK, теперь Управление инфраструктуры и проектов). Надзор за реализацией стратегии осуществлял Правительственный совет по строительству Government Construction Board. В состав Совета входят старшие должностные лица основных строительных департаментов и агентств правительства, а также департаментов, заинтересованных в политике в области строительства и эффективности, а также Национального партнерства по улучшению и эффективности. В процессе активно участвовали также научные и образовательные организации страны. Отдельно стоит подчеркнуть открытость – большинство данных были опубликованы в свободном доступе, что стало одной из причин того, что опыт Великобритании использовался как основной пример для

внедрения многими другими странами (в том числе для РК и РФ), это во многом способствовало формированию доверия к новой технологии.

Финансирование. Внедрение проходило в рамках государственного бюджета. Конкретных цифр о затратах на процесс внедрения BIM и сопутствующие процессы в открытых источниках не удалось обнаружить, однако известно, что по итогу 5 лет работы благодаря внедрению удалось сэкономить 3 млрд фунтов стерлингов, выделенных на строительство, ремонт и обслуживание различных объектов. Отдельных фондов для поддержки внедрения на этом этапе не создавалось

The UK Government Construction Strategy 2011-2016 provided £450 million of funding for the implementation of Building Information Modelling (BIM). This funding was focussed on the adoption of BIM technology by both public and private sector organisations, as well as a package of measures with BIM at the heart, aimed at digital collaboration and achieving best value [133]. Furthermore, the strategy included the analysis of the current situation and further research into the potential of BIM within the public construction procurement scenario [161].

Предпринятые меры и достигнутые показатели:

Государственная политика и мандаты. С 2016 года все проекты с государственным финансированием должны быть реализованы с использованием BIM Level 2. Мандат внедрен и успешно реализуется [113].

Информационная, организационная и материальная поддержка внедрения. Для поддержки внедрения была создана Целевая группа по информационному моделированию зданий (The Building Information Modelling (BIM) Task Group) финансируемая правительством Великобритании. Она была основана в 2011 году и заменена в 2017 году Центром цифрового строительства Великобритании. Было определено четыре рабочих потока: взаимодействие с заинтересованными сторонами и СМИ, поставки и производительность, коммерческое и юридическое сопровождение, а также обучение и научные круги. Были созданы рабочие группы для сосредоточения внимания на конкретных областях, включая: обучение и образование, требования к набору данных COBie, план работ, поставки программного обеспечения (Альянс технологий BIM), подрядные организации (UK Contractors Group, теперь замененная Build UK), поставки материалов и изделий (Construction Products Association) [113] В целом работа группы позволила наладить взаимодействие между разобщенными представителями индустрии. Большое участие приняли образовательные учреждения, которыми были сформированы большие программы по подготовке необходимых специалистов.

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Большим успехом британского опыта можно считать разработанную BSI (Британский институт стандартов), CDBB (Центр цифрового строительства Британии) и UK BIM Alliance систему стандартов и рекомендаций серии ISO 19650. Серия продолжает развиваться и уже содержит 9 руководств, еще два находятся на стадии согласования. Для информационной поддержки распространения и

разъяснения стандартов и руководств вся информация о них доступна на открытом портале UK BIM Framework. Отдельно стоит отметить проекты, реализованные в рамках строительства олимпийских объектов и объектов инфраструктуры, такие как International Broadcast Centre, Crossrail, Olympic Stadium и др. Став площадкой для реализации самых инновационных технологических решений, они дали огромный опыт для использования в том числе и BIM технологии на национальном и международном уровне [162; 163].

Пилотные проекты. В 2012 году был опубликован список из более чем 30 пилотных проектов, реализованных различными структурами государственного аппарата и объемом финансирования от 2 до 500 млн. £ из них 11 проектов – с использованием BIM технологий, также на сайте можно ознакомиться с 11 отчетами непосредственно по самим проектам. В отчетах поясняется какие и как были применены стратегии и как это помогло уменьшить стоимость строительства. Можно заметить, что из упомянутых выше пилотных проектов только 15, из них 3 с использованием BIM вошли в итоговый отчет в 2017 [164].

Количественные показатели. Было сэкономлено около 3 млрд £. К 2016-2017 году практически все государственные структуры и сотрудничающие с ними субъекты перешли на использование BIM level 2. Общий показатель использования BIM в период реализации программы вырос с 13 до 54% процентов [159]. Интересно отметить, что видимый рост продуктивности строительства в Великобритании наблюдался с 2009 по 2011 годы, а в период реализации программы и после даже несколько снизился [165].

Опыт Великобритании занимает особое место в истории внедрения BIM, поскольку именно здесь были заложены институциональные и методологические основы, которые впоследствии стали ориентиром для многих стран. Успех британской модели объясняется сочетанием сильной государственной воли, высокой степени вовлеченности профессионального сообщества и развитой институциональной среды. Внедрение BIM стало частью масштабной программы реформирования государственного строительного сектора, направленной на повышение его эффективности и прозрачности. Таким образом, BIM не рассматривался как отдельная технологическая инициатива, а был интегрирован в системный подход к изменению правил работы строительной отрасли.

Решающую роль сыграли благоприятные социально-экономические условия и высокий уровень зрелости строительной индустрии. Важным фактором было и то, что государство являлось крупнейшим заказчиком, контролировавшим около 40% рынка, что обеспечивало значительный рычаг влияния на все процессы. Правительство четко определило стратегические цели, включая снижение стоимости строительства на 20%, и связало их с переходом на цифровые методы управления жизненным циклом объектов. В 2016 году вступил в силу обязательный мандат на использование BIM Level 2

во всех государственных проектах, что обеспечило резкий рост уровня цифровизации.

Большое значение имела также организация процесса внедрения. Создание BIM Task Group, объединение государственных органов, академического сообщества, отраслевых ассоциаций и бизнеса позволило наладить координацию и избежать фрагментарности. Важно, что британская модель отличалась открытостью: результаты исследований, пилотные проекты и стандарты публиковались в свободном доступе, что укрепляло доверие участников рынка и делало опыт Великобритании ориентиром для других стран, включая Казахстан и Россию.

Вклад в успех внесла и стандартизация. Великобритания стала инициатором создания серии международных стандартов ISO 19650, которые закрепили основные принципы информационного моделирования и задали основу для международной гармонизации практики. Наличие развитой системы нормативных документов и методических руководств обеспечило единообразие подходов и облегчило практическое внедрение BIM в различных секторах.

Несмотря на достигнутые успехи, результаты оказались неоднозначными в плане роста производительности. Хотя удалось сэкономить около 3 млрд фунтов стерлингов и повысить уровень использования BIM в отрасли с 13% до 54%, статистика производительности не показала ожидаемого роста, а в ряде случаев даже наблюдалось снижение. Это отражает важный урок: внедрение BIM, даже в условиях хорошо организованной стратегии, не автоматически ведет к краткосрочному росту производительности, но создает долгосрочные предпосылки для трансформации индустрии.

В целом опыт Великобритании можно охарактеризовать как успешный и наиболее влиятельный в мировом контексте. Его основополагающими факторами стали системная государственная стратегия, интеграция BIM в комплексные реформы сектора, жесткий мандат, опора на стандартизацию и открытость данных. Именно сочетание политической воли, институциональной поддержки и активного участия профессионального сообщества сделало британский опыт образцовым и позволило ему стать моделью для адаптации в других странах.

2.2.4 Россия.

В России первая программа внедрения BIM осуществлялась в период 2014-2019 годы в рамках программы «План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства в проектировании». В конце 2020 г. Комиссией по апелляциям при Росстандарте ряд ранее принятых стандартов по применению BIM был отменен и предложена разработка новой дорожной карты.

Условия внедрения:

Социально-экономические условия (2014). Индекс демократии: 3.39 (132 место в мире) [136], индекс коррупции: 27 (136 место в мире) [137], ВВП на душу населения около 26 000 USD [138]. Не смотря на очень низкие социальные показатели, экономический потенциал страны находился на достаточно высоком уровне.

Состояние индустрии (2014). ВВП строительной индустрии в указанный период составлял около 93 млрд USD (по среднему курсу доллара на 2013) [166], средняя стоимость квадратного метра – около 1500 USD [167]. В 2014 году рентабельность продаж отрасли "Строительство зданий" составила 2,4% [168]. На момент начала внедрения BIM строительную отрасль России, как и многих других стран можно было охарактеризовать как низкоэффективную с большим количеством издержек, при этом достаточно большую и конкурентную, уровень технологичности можно назвать средним.

Состояние технологии. На момент внедрения BIM на государственном уровне в России уже с 2004 существовала политика цифровизации в строительном секторе [169]. Программные продукты, обеспечивающие налаженную работу, были достаточно развиты [170]. Научный интерес к BIM был на приемлемом для начала внедрения уровне (порядка 50 научных публикаций в базе Scopus до 2014 года). На территории России к 2014 году были реализованы крупные и инновационные проекты с применением Информационного моделирования в рамках подготовки к Олимпиаде 2014 [171].

Организационные факторы:

Предварительные анализ. Кризис 2008-2009 годов стал главной движущей силой в оптимизации расходов на строительство, что и стало первым шагом перехода на Информационное моделирование как неотъемлемой части политики цифровизации. Главными задачами государства стало снижение издержек и рисков в строительстве, повышение производительности и качества. Тем не менее в опубликованном плане меры в основном ограничиваются внедрением на стадии проектирования. Инициировала программу внедрения рабочая группа BIM/IPD, члены которой также активно участвовали и в дальнейшем процессе внедрения [172].

Организационная структура, принципы и условия работы над внедрением. В 2014 г. по инициативе президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ (Минстрой РФ) совместно с Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) было поручено разработать «План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства в проектировании», который был утвержден в декабре того же года [173]. Помимо Минстроя РФ разработкой и реализацией программы занимались Минэкономразвития России, Минфин России, Минюст России, ФАС России, ФАУ «Главгосэкспертиза России» и др. Частные организации такие как,

Конкуратор, buildingSMART (действующая на базе ассоциации НАИКС) занимались разработкой национальных стандартов и сводов правил и общим продвижением технологии.

Финансирование. Внедрение BIM, в частности, разработка законодательной, правовой и методической основы управления жизненным циклом строительных объектов осуществлялась в рамках финансирования программы по цифровизации в строительстве. Сведений по затратам на первый этап не было опубликовано. Для представления порядка цифр можно привести расходы, запланированные на внедрение BIM в рамках цифровизации в регионах 2020-2024 – около 8 млн USD [174].

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Не смотря на наличие достаточного опыта в осуществлении проектов с BIM, стандарты (на базе ISO 19650) были разработаны только к концу программы в 2019 году (ГОСТ Р 58439.1 и 2) и к тому же вскоре отменены. Отсутствие национальных стандартов с одной стороны частично компенсировалось созданием корпоративных – на базе международного опыта, с другой стороны это привело к укоренению разнородных внедрений, которые снижают уровень взаимодействия в масштабах государства [175].

Предпринятые меры и достигнутые показатели:

Государственная политика и мандаты. Одним из первых шагов стала организация возможности экспертизы информационных моделей в «Мосгосэкспертиза» в конце 2014. Однако в регионы такая практика распространяется очень медленно. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331, согласно которому применение информационной модели обязательно для гражданского строительства, финансируемого с привлечением бюджетных средств Российской Федерации. вступило в силу 1 января 2022 года [176], на 3 года позднее окончания первой программы, в рамках новой «дорожной карты».

Информационная, организационная и материальная поддержка внедрения. Основную поддержку информационного характера (публикация материалов, проведение тематических мероприятий, формирование сообществ) осуществляли независимые порталы, компании, вендоры программного обеспечения (Isicad.ru, Кокуратор, Renga Software, Autodesk другие). В образовательных учреждениях были созданы специальные программы по подготовке специалистов (МИСИС, СПбПУ, УГНТУ).

Пилотные проекты. На территории России в период 2014-2019 были реализованы крупные и инновационные проекты с применением Информационного моделирования – Лахта Центр (Рис 7.), Центр художественной гимнастики в составе Олимпийского комплекса «Лужники», стадионы для Чемпионата мира по футболу 2018 году [177–179]. Не смотря на то, что данные проекты официально не рассматривались как пилотные – они дали большой толчок и опыт в использовании технологии BIM в стране. Пилотные же проекты были подготовлены и запущены только в 2019 году, фактически уже вне рамок первоначальной программы [179]

Первый этап внедрения BIM в России (2014–2019) показал противоречивые результаты. С одной стороны, имелись благоприятные предпосылки: высокий экономический потенциал страны, наличие значимых проектов с применением BIM (Олимпиада в Сочи, стадионы к ЧМ-2018, Лахта Центр), развитый рынок программного обеспечения и определённый научный задел. С другой стороны, институциональные факторы оказались слабыми.

Отсутствие национальных стандартов на протяжении большей части программы, а также их позднее принятие и последующая отмена, привели к тому, что внедрение развивалось фрагментарно и носило корпоративный характер. Государственный мандат об обязательном применении BIM для объектов с бюджетным финансированием вступил в силу лишь в 2022 году, то есть на несколько лет позже окончания программы, что сильно снизило её эффект. Кроме того, организационная структура внедрения была перегружена участием множества ведомств и ассоциаций, но без устойчивого механизма координации.

Таким образом, несмотря на отдельные успехи в реализации масштабных объектов и подготовке образовательных программ, первый цикл внедрения не достиг системного эффекта. Главными факторами, определившими ограниченность результатов, стали: запаздывание с формированием нормативной базы, слабая институциональная координация и отсутствие обязательного мандата на основном этапе. Успехи в большей степени были связаны с инициативами крупных компаний и мегапроектами, а не с комплексной государственной политикой.

2.2.5 Китай

Условия внедрения

Социально-экономические условия. В начале 2010-х Китай вступил в фазу ускоренной урбанизации: доля городского населения превысила 50 % в 2011 году, что сопровождалось рекордным спросом на жильё и инфраструктуру. Строительная отрасль стала драйвером экономики, обеспечивая до 7 % ВВП и оставаясь основным каналом государственных инвестиций [180] (World Bank, 2012). К этому времени Китай являлся крупнейшим в мире строительным рынком как по объёмам, так и по темпам роста, что обострило требования к управлению сроками, затратами и качеством строительства [181] (Zhao et al., 2019).

Состояние строительной индустрии. Отрасль отличалась высокой фрагментацией подрядных организаций, разнородностью практик и существенными региональными различиями [182] (Jin et al., 2017). Несмотря на масштабы, производительность труда в строительстве оставалась ниже по сравнению с промышленностью, а высокая доля ручных операций увеличивала издержки и риски [183] (Wang & Chong, 2015). Государство стремилось реформировать сектор через индустриализацию строительства и

цифровизацию процессов, что объективно подготовило почву для внедрения BIM как инструмента повышения координации и прозрачности.

Состояние BIM-технологии. Уже в конце 2000-х годов в Китае существовала собственная цифровая экосистема, ориентированная на национальные нормы. Разработанный Китайским институтом строительных исследований комплекс **PKPM** широко применялся для расчётов конструкций и энергомоделирования, создавая основу для локальной цифровизации [183] (Wang & Chong, 2015). В 2010-е годы усилилось развитие компаний **Glodon** и других поставщиков решений, ориентированных на 5D-сметы и управление строительством; параллельно формировались партнёрства с международными игроками — например, Autodesk–Glodon или Arup–PKPM — что снижало барьеры интероперабельности [184; 185] (Ху, 2024; Arup, 2023). Несмотря на то что по данным середины 2010-х годов лишь около 20–30 % компаний применяли BIM в практике, в крупных городах и на государственных проектах технология уже закреплялась как отраслевой стандарт [182; 186] (Dodge Data & Analytics, 2015; Jin et al., 2017).

Организационные факторы

Предварительный анализ. Подготовка к внедрению BIM в Китае шла по линии как государственного стратегического планирования, так и отраслевого анализа барьеров и выгод. Уже в первой половине 2010-х гг. Министерство жилищного и городского строительства (MOHURD) заказало исследования по состоянию цифровизации и кадровой готовности в строительстве, где BIM рассматривался как инструмент модернизации [187]. Крупнейшие проектные институты, такие как China Academy of Building Research (CABR), выпустили собственные отчёты о применимости BIM в различных сегментах отрасли [188]. Дополнительно независимые аналитики [186] фиксировали, что к середине десятилетия около 15–20 % проектных организаций в Китае уже экспериментировали с BIM, главным образом в инфраструктуре и крупном жилищном строительстве, что создавало критическую массу для перехода к институционализации.

Организационная структура. Организационная система внедрения BIM в Китае имела многоуровневый характер. На национальном уровне важную роль играл MOHURD, который разрабатывал стратегические документы, координировал межведомственные инициативы и утверждал технические стандарты. Под его руководством действовали специализированные структуры — например, Центр информатизации строительства (China Construction Industry Information Center), отвечавший за методическое сопровождение и мониторинг пилотных проектов [184].

Важным элементом стала деятельность CABR и связанных с ним подразделений, участвовавших в разработке национальных стандартов GB/T по BIM и формировавших профессиональные рекомендации. В качестве отраслевых объединений значимым объединением выступил China BIM Union (основан в 2012 г.), объединяющий исследовательские институты,

компаний-разработчики и подрядчиков, что обеспечивало обмен практиками и выработку единых подходов [189].

На уровне мегаполисов правительства крупных городов (Шанхай, Пекин, Гуанчжоу) формировали собственные дорожные карты и рабочие группы по внедрению BIM, интегрируя национальные приоритеты в региональные программы развития строительства [190]. Таким образом, структура включала «вертикаль» от MOHURD до муниципальных департаментов и горизонтальные профессиональные сообщества, что обеспечивало как контроль, так и обмен знаниями.

Финансирование. Финансирование внедрения BIM в Китае сочетало централизованные и децентрализованные источники. На национальном уровне MOHURD и Министерство науки и технологий (MOST) выделяли грантовые средства в рамках программ поддержки «интеллектуального строительства», что позволяло финансировать пилотные проекты, НИОКР и образовательные инициативы [191]. С 2016 г. часть финансирования шла через государственные фонды инновационного развития, которые субсидировали цифровизацию проектных институтов и подрядных организаций [184].

На уровне муниципалитетов широко применялись налоговые льготы и прямые субсидии компаниям, внедряющим BIM в проектах государственного заказа [192]. При этом государственные банки, включая China Development Bank, предоставляли льготные кредиты на цифровую трансформацию предприятий строительной отрасли [189]. Таким образом, финансирование строилось как комбинация прямых бюджетных вложений, субсидий и рыночных инструментов, что снижало барьеры внедрения и делало участие в программах привлекательным для бизнеса.

Предпринятые меры и достигнутые показатели

Государственная политика и мандаты. Значимым поворотом стало издание межведомственного документа «Руководящие мнения о координированном развитии интеллектуального строительства и индустриализации строительства» (2020), который закрепил курс на цифровизацию и предписал включать цифровые технологии, включая BIM, во все звенья жизненного цикла — от проектирования и производства до монтажа и эксплуатации, с координацией по линии жилищно-строительных, экономических, научно-технических и отраслевых ведомств [193]. В 2022 году MOHURD утвердил сеть из 24 «пилот-городов» интеллектуального строительства с трёхлетними программами мероприятий и индикаторами результативности, что обеспечило масштабирование требований к применению BIM через региональные дорожные карты, госзакупки и процедуры экспертизы [194]. Эти решения институционализировали переход от точечных инициатив к управляемому внедрению на уровне мегаполисов.

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Нормативная база опирается на серию национальных стандартов GB/T и ведомственных JGJ/T. Базовым каркасом выступает GB/T 51212-2016 «Единый стандарт

применения BIM» (введён в действие с 1 июля 2017 г.), задающий терминологию, роли и общие требования к применению. Для унификации структуры данных принят GB/T 51269-2017 по классификации и кодированию BIM-объектов; в практике он признаётся одним из «трёх базовых» стандартов, обеспечивающих интероперабельность и сопряжение с ISO 12006-2. В части графической фиксации и оформления результатов действует JGJ/T 448-2018 (профиль проектной документации), а для долговременного хранения и обмена моделями — GB/T 51447-2021, где в качестве опорного формата закреплён IFC4. На уровне лучших практик муниципальные регламенты интегрируют BIM в «умную» экспертизу, подачу на разрешительные процедуры и приёмку, обеспечивая правовую определённость статуса цифровых моделей как части официальной сдачи [194].

Пилотные проекты. Демонстрационные проекты закрепили технологические и организационные эффекты. В транспортной инфраструктуре проект «Hangzhou West Railway Station» (China Academy of Railway Sciences) получил международное признание buildingSMART как победитель программы openBIM Awards 2023 в категории «Construction for Infrastructure», показав воспроизводимость открытых форматов и сквозной координации [195]. Среди знаковых объектов ранее — «Shanghai Tower», где комплексное применение BIM для проектирования, координации и сметно-календарного планирования отражено в инженерных отчётах и кейс-исследованиях [196; 197]. В аэропортовой инфраструктуре «Beijing Daxing International Airport» используется как референтный кейс цифрового планирования и управления строительством в ряде академических исследований [198; 199]. Эти проекты обеспечили трансфер методик в региональные нормы и ведомственные регламенты.

Количественные показатели (статистика по внедрению). Ранние замеры фиксировали низкую базу: по опросу China Construction Industry Association (2012) менее 15 % подрядчиков использовали BIM [200]. К концу 2010-х наблюдался рост: анализ по выборке публичных АЕС-компаний показывает внедрение на уровне $\approx 36,5$ % к 2018 г. [201] (. На рубеже 2020-х прирост был обеспечен через региональные требования и пилоты: исследование практик генеральных подрядчиков в Восточном Китае демонстрирует доминирование продвинутых режимов применения в значимой доле компаний региона, что соответствует переходу от ситуативного использования к устойчивым производственным шаблонам [202]. Формально-количественные драйверы масштабирования — 24 пилот-города (с 2022 г.) и распространение муниципальных требований к BIM-подаче/экспертизе — подтверждают структурный сдвиг от единичных кейсов к институциональной норме [193; 194]. При этом исследования конца 2010-х подчёркивали разнородность: проникновение выше в инфраструктуре и мегаполисах, ниже — среди SME и в «региональной глубинке» [203].

Внедрение BIM в Китае можно охарактеризовать как успешное, хотя и неоднородное по охвату. Главным фактором стала масштабная

государственная поддержка: Министерство жилищного и городского строительства и смежные ведомства задали институциональную рамку через национальные стандарты GB/T, обязательные мандаты, сеть пилотных городов и интеграцию цифровых моделей в процессы госзакупок и экспертизы. Организационная структура сочетала вертикальные связи от центральных органов до муниципалитетов и горизонтальные объединения профессиональных ассоциаций, таких как China BIM Union, что обеспечивало согласование стандартов и обмен практиками. Показательные проекты национального уровня, в том числе Shanghai Tower, Beijing Daxing и Hangzhou West Station, а также система государственных субсидий и кредитов продемонстрировали экономическую эффективность и снизили барьеры для бизнеса. Вместе с тем развитие сопровождалось проблемами: внедрение оставалось неравномерным по регионам, малые и средние компании интегрировали BIM значительно медленнее, а динамика процесса в большей степени зависела от директив «сверху вниз», чем от органического рыночного спроса. В целом Китай показал, что сочетание политической воли, институционализации и демонстрационных кейсов позволяет закрепить BIM в качестве отраслевого стандарта на уровне мегаполисов и крупных инфраструктурных проектов, хотя глубина проникновения в менее масштабные сегменты строительной отрасли пока ограничена.

2.2.6 Малайзия

Условия внедрения

Социально-экономические условия. Малайзия с конца 2000-х демонстрировала устойчивый экономический рост, поддерживаемый индустриализацией, экспансией сферы услуг и активной урбанизацией. К 2010 г. более 70 % населения уже проживало в городах, что обусловило спрос на крупные инфраструктурные проекты, жилую и коммерческую застройку [204]. В этот же период государство закрепило курс на цифровую экономику в стратегических планах «Vision 2020» и «Eleventh Malaysia Plan» (2016–2020), увязав инновации в строительстве с повышением национальной конкурентоспособности и снижением зависимости от трудоёмких технологий [205].

Состояние строительной индустрии. Строительная индустрия Малайзии занимает значительное место в национальной экономике: в 2010-е годы её вклад в ВВП составлял 3–5 %, при этом сектор отличался высокой фрагментацией, зависимостью от субподрядов и ручных процессов [206]. Правительство и профессиональные ассоциации отмечали низкую производительность и необходимость сокращения издержек за счёт внедрения индустриализации строительства (IBS — Industrialized Building System) и цифровых инструментов, включая BIM. Важную роль в развитии отрасли сыграл Совет по строительной индустрии (CIDB), который с середины 2000-х начал формировать долгосрочные программы повышения эффективности.

Состояние BIM-технологии. До 2010-х BIM в Малайзии применялся ограниченно, в основном в транснациональных проектах с участием международных консалтинговых и проектных компаний [207]. Локальные практики оставались фрагментарными: использование Revit и ArchiCAD отмечалось преимущественно в крупных архитектурных бюро, тогда как малые и средние компании продолжали работать в 2D-CAD [208]. Интересной особенностью стало сочетание BIM с программой IBS, где цифровое моделирование рассматривалось как средство поддержки префабрикации и стандартизации. Несмотря на медленное внедрение, к середине 2010-х BIM начал восприниматься как стратегический инструмент повышения качества проектирования, координации дисциплин и снижения рисков.

Организационные факторы

Предварительный анализ. Подготовка к внедрению BIM в Малайзии велась системно, начиная с середины 2000-х годов. Первые инициативы были связаны с анализом международного опыта (Великобритания, Сингапур, Южная Корея) и локальных особенностей строительной индустрии [209] (CIDB, 2007). В рамках «Malaysian Construction Industry Master Plan 2005–2015» был проведён ряд исследований, подтверждавших необходимость цифровизации процессов проектирования и строительства. С конца 2000-х годов Lembaga Arkitek Malaysia (LAM) и CIDB начали пилотные исследования по использованию BIM для координации архитектурных и инженерных разделов [210] (Arayici et al., 2011).

Организационная структура. Управляющим органом внедрения стал Construction Industry Development Board (CIDB), отвечающий за стратегическое планирование и внедрение технологий. С 2011 года CIDB действовал в связке с Public Works Department (JKR), которое первым внедрило обязательные BIM-требования для отдельных государственных проектов [211]. Кроме того, Министерство общественных работ (Ministry of Works, Malaysia) курировало интеграцию BIM в национальные программы развития инфраструктуры, а Министерство образования участвовало через внедрение BIM-курсов в университетах [212].

Общественные и профессиональные институты играли важную роль: Board of Engineers Malaysia (BEM) и LAM устанавливали требования для профессиональной практики, а Malaysia Digital Economy Corporation (MDEC) поддерживала цифровую трансформацию в рамках общей стратегии цифровой экономики. Коммерческие игроки, такие как Glodon Malaysia и Autodesk Malaysia, участвовали в разработке обучающих программ и адаптации программного обеспечения к национальным стандартам [213].

Финансирование. Финансирование программ BIM велось по смешанной схеме. Государственные инвестиции через CIDB и JKR обеспечивали разработку «BIM Roadmap for Malaysia» (2014–2020), а также финансировали пилотные проекты для государственных зданий и инфраструктурных объектов. В частности, JKR выделяло бюджеты на

внедрение BIM в крупные объекты транспортной и образовательной инфраструктуры [214].

Параллельно частный сектор инвестировал в обучение специалистов и локализацию ПО. Международные компании (Autodesk, Bentley, Glodon) финансировали обучение и сертификационные программы, тогда как университеты получали гранты от Министерства образования для подготовки кадров [212]. К концу 2010-х годов Малайзия перешла к модели софинансирования, где государство финансировало базовую инфраструктуру и стандарты, а бизнес — обучение и практическое внедрение [213].

Предпринятые меры и достигнутые показатели

Государственная политика и мандаты. Малайзия закрепила BIM как часть государственной стратегии цифровизации строительного сектора. В рамках Construction Industry Transformation Programme (CITP) 2016–2020, разработанной CIDB, BIM был определён определяющим инструментом повышения продуктивности и снижения затрат. Документ установил целевой показатель — обязательное применение BIM в государственных проектах стоимостью свыше 100 млн MYR начиная с 2019 г. [215; 216]. Политическая поддержка сопровождалась созданием myBIM Centre в Куала-Лумпуре (2017), выступившего площадкой для обучения и демонстрации технологий [217].

Отраслевые стандарты и лучшие практики. Для институционализации BIM были разработаны национальные стандарты: MS 1525:2014 (Energy Efficiency in Non-Residential Buildings), а также серия Malaysian BIM Guide [218], которые определили процессные регламенты и требования к моделям. Малайзия также адаптировала международные практики, включая интеграцию с ISO 19650 и обмен данными в формате IFC [219]. Лучшие практики формировались через демонстрационные проекты (KLIA 2, MRT Line 2), где BIM применялся в комплексном жизненном цикле объекта [220; 221].

Пилотные проекты. Основные пилоты включали: MRT Sungai Buloh–Kajang Line (2012–2017) — первый масштабный транспортный проект с BIM, включавший 3D-координацию, clash detection и интеграцию 5D для смет [222]; KLIA 2 Terminal (2014) — применение BIM для координации инженерных систем и проверки соответствия нормам [221]; Hospital projects (2018–2021) — в рамках госпрограммы Министерства здравоохранения BIM внедрялся для проектирования и эксплуатации [223].

Эти проекты служили демонстрацией возможностей BIM и использовались в качестве обучающих кейсов в рамках myBIM Centre.

Количественные показатели (статистика по внедрению). По данным CIDB и исследователей, к 2020 г. около 17–20 % строительных компаний Малайзии использовали BIM в своих проектах [221]. В госсекторе уровень проникновения был выше: BIM применялся в около 50 % крупных инфраструктурных проектов [223]. Согласно отчёту Wong et al. [220], среди барьеров внедрения отмечались высокие издержки и недостаток квалифицированных кадров, однако государственные мандаты

способствовали росту числа компаний, инвестирующих в BIM-обучение и ПО.

Внедрение BIM в Малайзии можно оценить как умеренно успешное, с ощутимым прогрессом на уровне политики и инфраструктуры поддержки, но с ограниченными результатами в плане широкого отраслевого внедрения.

С одной стороны, страна выстроила достаточно последовательную стратегию: запуск CITP 2016–2020, учреждение myBIM Centre и публикация *Malaysian BIM Guide* (2013) обеспечили институциональную основу. Государство выступило в роли главного драйвера, закрепив BIM в национальных планах цифровизации и установив мандаты для крупных государственных проектов. В ряде важных инфраструктурных проектов (MRT Sungai Buloh–Kajang Line, KLIA2) BIM реально применялся, продемонстрировав ценность технологии.

С другой стороны, масштабы внедрения за пределами пилотных и флагманских проектов оказались ограниченными. Исследования отмечают, что высокие затраты на внедрение, недостаток квалифицированных специалистов и сопротивление со стороны малых и средних компаний тормозят процесс. Кроме того, стандартизация и практическое применение ISO 19650 внедрялись медленно, что снижало эффективность междисциплинарного взаимодействия.

Таким образом, успехи Малайзии в сфере BIM заключаются прежде всего в создании институциональной и нормативной базы, демонстрации ценности технологии на отдельных проектах и подготовке профессионального сообщества. Однако массового и равномерного внедрения по всей отрасли достичь не удалось: BIM остаётся в основном инструментом для крупных государственных и инфраструктурных проектов, тогда как частный сектор и малые компании внедряют его крайне ограниченно.

2.2.7 Сравнительный анализ мирового опыта

Сравнительный анализ шести кейсов показывает, что успех внедрения BIM определяется не только технологической готовностью отрасли, но и балансом между государственной политикой, институциональной координацией и рыночными стимулами. В странах с сильной политической волей и централизованной системой управления — таких как Сингапур, Великобритания и Китай — внедрение оказалось наиболее результативным. В Сингапуре успех был достигнут благодаря комбинации жестких государственных мандатов и масштабной финансовой поддержки, которая компенсировала издержки бизнеса и сняла барьеры для малых компаний. Великобритания сделала ставку на системную реформу сектора, интегрировав BIM в широкий пакет институциональных преобразований и обеспечив открытость стандартов, что позволило закрепить её опыт как глобальный ориентир. Китайская модель показала эффективность директивного «сверху вниз» подхода, где государство задало нормативную и

финансовую рамку, а пилотные проекты продемонстрировали экономическую целесообразность, хотя равномерность внедрения по регионам и сегментам оставалась проблемой (Рис.29).

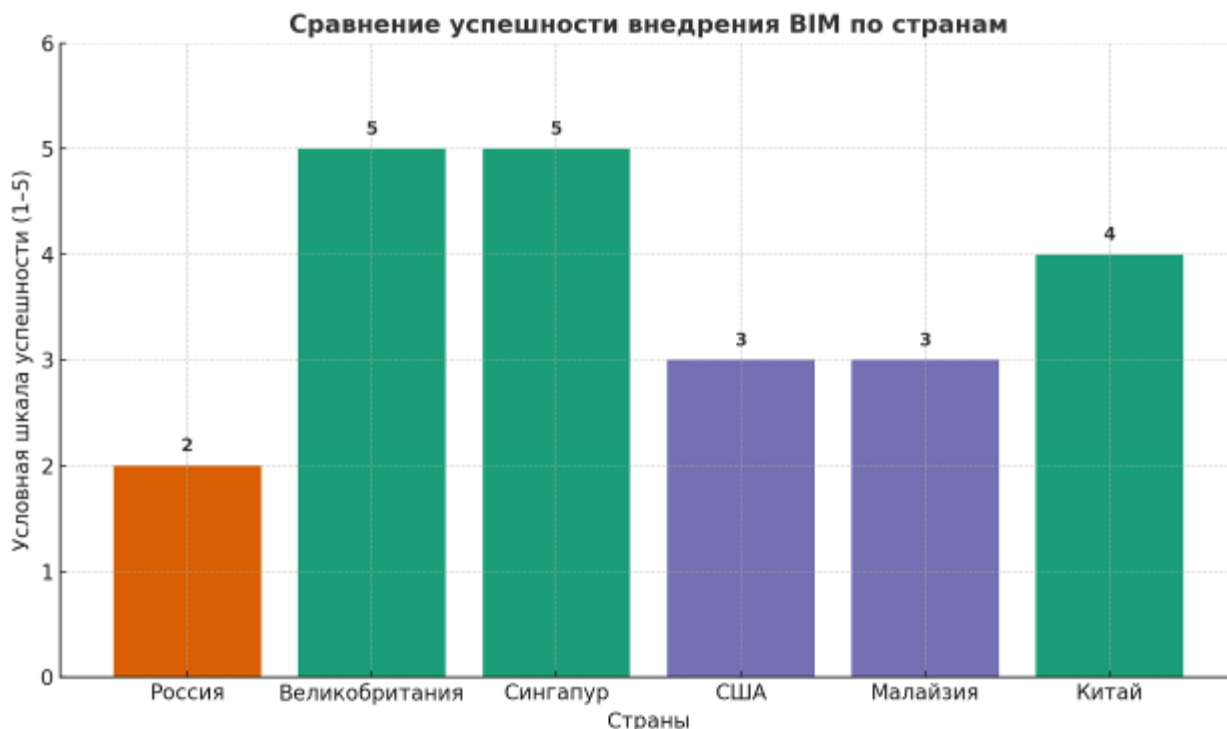


Рисунок 29. Оценка уровня эффективности государственных инициатив по внедрению BIM в изученных случаях.

В США внедрение развивалось иным путём: отсутствие единого государственного мандата не позволило достичь масштабной унификации, однако высокий уровень технологической зрелости, развитый рынок ПО и инициативы профессиональных сообществ сделали именно индустрию главным драйвером процесса. Результат оказался противоречивым: США обеспечили мировое лидерство в разработке инструментов и стандартов, но не достигли столь же высокого уровня обязательного применения, как в Великобритании или Сингапуре.

Опыт России и Малайзии показывает трудности стран, где государство предпринимает усилия, но сталкивается с институциональной фрагментацией и ограниченной готовностью рынка. В России ограничителями стали задержка в формировании нормативной базы, слабая координация между ведомствами и запоздалый мандат, что сделало внедрение преимущественно корпоративной инициативой, а не системной политикой. В Малайзии, несмотря на наличие стратегических документов, myBIM Centre и ряд успешных проектов, процесс сдерживался нехваткой кадров, высокими издержками и слабой вовлеченностью малых и средних компаний, что оставило BIM преимущественно инструментом для крупных государственных заказов.

В целом сравнительный анализ показывает, что решающими факторами успеха стали сочетание политической воли, нормативной базы и институциональной координации, усиленное финансовыми и образовательными мерами поддержки (Таблица 7). Там, где эти элементы действовали в комплексе, как в Сингапуре и Великобритании, внедрение было наиболее успешным и стало образцом для других стран. Там же, где баланс оказался нарушен — в России, Малайзии или США — внедрение либо носило ограниченный характер, либо зависело преимущественно от инициатив отдельных акторов, а не от системной государственной политики.

Таблица 7. Краткая информация о рассмотренных примерах национального внедрения BIM

Страна	Общая оценка внедрения	Ключевые факторы успеха	Основные ограничения/проблемы
Россия	Частично успешное, фрагментарное	Наличие крупных проектов (Сочи, ЧМ-2018, Лахта-Центр), развитие рынка ПО, образовательные инициативы	Запоздание нормативной базы, слабая координация ведомств, отсутствие своевременного мандата
Велико-британия	Один из самых успешных и образцовых кейсов	Сильная госстратегия, жесткий мандат (BIM Level 2), интеграция в реформу сектора, BIM Task Group, открытость данных, международная стандартизация (ISO 19650)	Ограниченный рост производительности, эффект проявился больше в долгосрочной трансформации, чем в краткосрочной эффективности
Сингапур	Очень успешное и комплексное внедрение	Жесткий мандат (e-Submission), BIM Roadmap, BIM Fund (250 млн USD), развитая цифровая экспертиза (CORENET), вовлечённость профессиональных и образовательных структур	Рост производительности ограничен (около 4%), успехи больше в цифровизации процессов и управляемости отрасли
США	Частично успешное, противоречивое	Научно-техническое лидерство, сильная индустриальная и академическая база, инициативы GSA, ранние стандарты и BIM-гайды	Отсутствие единого мандата, федеративная структура, эффект ограничен федеральными проектами, внедрение шло рыночным путём
Малайзия	Умеренно успешное, ограниченное масштабами	Национальная стратегия (CITP), myBIM Centre, Malaysian BIM Guide, пилотные проекты (MRT, KLIA2), мандаты на госуровне	Высокие издержки, нехватка кадров, низкая вовлечённость малого и среднего бизнеса, медленная стандартизация
Китай	Успешное, но неоднородное	Сильная господдержка (стандарты GB/T, мандаты, пилотные города), масштабные демонстрационные проекты	Неравномерность по регионам, слабая интеграция в МСБ, зависимость от директив

		(Shanghai Tower, Daxing, Hangzhou West), субсидии и кредиты, работа профессиональных союзов	«сверху вниз»
--	--	---	---------------

2.3 Внедрение в Казахстане

Условия внедрения BIM в Казахстане

Социально-экономические условия. На момент начала обсуждения цифровизации строительной отрасли Казахстан характеризовался экономикой с выраженной сырьевой зависимостью, в первую очередь от экспорта нефти и газа. В 2010-е годы около 60 % экспорта страны приходилось на минеральное сырьё, что обеспечивало быстрый рост ВВП, но одновременно делало систему уязвимой к внешним колебаниям цен на энергоносители [224] (World Bank, 2022). При этом индекс восприятия коррупции, по данным Transparency International, находился на низком уровне: 29 баллов из 100 в 2016 году (131 место), что указывает на существенные институциональные барьеры для внедрения инноваций [225] (Transparency International, 2016).

С другой стороны, к 2017 году Казахстан активно развивал стратегию цифровизации. Государственная программа «Цифровой Казахстан», принятая в декабре 2017 года, ставила задачу перевести ключевые отрасли экономики, включая строительство, на цифровые технологии, а также внедрить электронные госуслуги и систему «умных городов» [226] (Government of Kazakhstan, 2017). Таким образом, условия для внедрения BIM формировались в парадоксальной ситуации: при сохраняющихся институциональных проблемах государство продвигало амбициозную повестку цифровизации, видя в ней инструмент повышения прозрачности и инвестиционной привлекательности.

Состояние строительной индустрии. Строительная отрасль Казахстана к середине 2010-х годов занимала значимую долю в национальной экономике. По данным Комитета по статистике РК, объем строительных работ в 2016 году составил более 3,3 трлн тенге, что эквивалентно примерно 10 млрд USD [227] (Bureau of National Statistics, 2016). В отрасли доминировали государственные инфраструктурные проекты: реализация программ «Нұрлы жол» (с 2015 года) и «Доступное жильё 2020» определяла основную динамику. Программа «Нұрлы жол» предусматривала выделение более 40 млрд USD на развитие транспортной и жилищной инфраструктуры [228] (Wikipedia, 2024).

Наиболее ощутимыми проблемами индустрии были низкая производительность труда, высокая себестоимость и недостаток квалифицированных кадров. Согласно данным Азиатского банка развития, производительность в строительстве Казахстана отставала от развитых стран более чем в два раза [229] (Asian Development Bank, 2017). При этом сектор

был и остаётся фрагментированным: доминирование крупных государственных подрядчиков сочетается с множеством малых компаний, которые не имеют ресурсов для инвестиций в инновации. Всё это делало внедрение BIM крайне актуальным как инструмента оптимизации процессов и снижения издержек.

До середины 2010-х годов использование BIM в Казахстане было ограничено отдельными крупными проектами. В частности, при подготовке к международной выставке EXPO-2017 в Астане применялись элементы информационного моделирования, а также в проектах реконструкции транспортной инфраструктуры, финансируемых Всемирным банком [230] (Isicad, 2017). Однако эти случаи имели преимущественно точечный характер и не сопровождались созданием национальных стандартов.

Важным моментом стало утверждение Министерством по инвестициям и развитию РК в апреле 2017 года официального «Плана поэтапного внедрения BIM-технологий в проектировании» [231] (Global BIM Network, 2017). Документ предусматривал разработку нормативной базы, пилотные проекты, обучение специалистов и создание банка информационных моделей. Несмотря на амбициозность целей, реальное распространение BIM в частном секторе оставалось ограниченным из-за отсутствия мотивации у бизнеса и слабой интеграции с международными практиками.

Знаковым событием стало вступление Казахстана в сообщество buildingSMART International в марте 2024 года как развивающей структуры [232] (buildingSMART, 2024). Это подтверждает признание страны на международной арене и закрепляет намерение унифицировать практики BIM в соответствии с глобальными стандартами ISO 19650.

Организационные факторы

Исследовательская активность (Предварительный анализ). Исследования, предшествовавшие запуску программы внедрения BIM в Казахстане, имели преимущественно фрагментарный и косвенный характер. До 2017 года доминировали адаптационные публикации, основанные на переводе зарубежных источников и обзоре международного опыта (например, работ по Великобритании, Сингапуру и Южной Корее). В университетской и ведомственной среде появлялись отдельные статьи, в которых анализировались общие преимущества BIM для проектно-строительной отрасли (см. напр. [233; 234]). Однако эти публикации были скорее декларативными и обзорными, чем эмпирическими: они содержали аргументы в пользу необходимости перехода к цифровому моделированию, но не давали практического ответа на вопрос, каким образом адаптировать BIM к локальным институциональным условиям — системе госзакупок, экспертизы, хранения данных и кадровой подготовки.

В период непосредственной подготовки к внедрению велась внутренняя аналитическая работа, организованная профильными структурами — в частности, РГП «Госэкспертиза» и КазНИИСА. Эти организации проводили прикладные НИР, пилотные проекты и тестирование

методик, направленных на формирование национальной системы нормативов (ТИМСО). Однако в отличие от практики стран-лидеров (например, Великобритания, где отчёт Digital Built Britain был открыт для широкой дискуссии [235]), в Казахстане тексты подобных отчётов не публиковались в открытом доступе. Это снижало прозрачность процесса, ограничивало участие внешнего экспертного сообщества и препятствовало выработке согласованной терминологии и подходов. Такая «замкнутость» институциональной аналитики контрастировала с международной тенденцией, где открытые отчёты и консультации с рынком стали значимым фактором успеха внедрения BIM [115].

После формального запуска курса на внедрение BIM (утверждение в 2017 г. поэтапного плана, формирование ТИМСО и сопутствующих мер) публикационная активность сместилась от обзорных и декларативных материалов к более прикладным работам — по процессам координации, устойчивому строительству, образованию/кадрам и институциональным инициативам. Это позволяет говорить о постепенном переходе от «пояснения пользы BIM» к апробации конкретных практик и инструментов. На уровне базы источников ядро составили рецензируемые статьи в международных журналах (MDPI Buildings), материалы международных конференций (EC3), вузовские журналы (серия Вестника ЕНУ) и документы профильных организаций (Global BIM Network, РГП «Госэкспертиза», buildingSMART).

Одним из первых прикладных направлений стала оценка «коллизий» и практик координации. Исследование в Buildings на казахстанской выборке описывает структуру BIM-подразделений, используемые регламенты и типичные причины коллизий, увязывая их с фактической организацией проектных процессов; показано, что формальные знания о BIM опережают реальное внедрение процедур (CDE, BCP, обмен IFC), а барьеры укоренены в управленческих практиках и культуре взаимодействия (распределение ответственности, частота совещаний, контроль качества данных). Эта работа важна именно эмпирической привязкой к контексту РК и попыткой реконструировать «как реально делается координация» на проектах [234; 236].

Второе заметное направление — локализация «зелёной» повестки: серия исследований предложила, а затем верифицировала BIM-основанную методику для Казахстанского каркаса оценки устойчивости коммерческих зданий (KBSAF). В статье Buildings (2021) показано, какие индикаторы KBSAF поддерживаются средствами BIM (анализ инсоляции/энергомоделирование, управление материалами, отходами и т. п.), а где требуются дополнительные данные/инструменты; методика валидирована экспертной Delphi-оценкой. Практический вывод — сформирован концептуальный фреймворк BIM-KBSAF, связывающий функции Revit и сопутствующих анализаторов (Green Building Studio, DAYSIM) с локальными критериями устойчивости. Это направление ценно тем, что переводит BIM из плоскости «координации» в плоскость «оценки эффективности решений» применительно к реалиям РК [237].

С точки зрения подготовки кадров появляются как описания кейсов проектно-ориентированного обучения, так и разработки полноценных образовательных программ. В докладе автора на конференции European Conference on Computing in Construction 2022 разобрана модель курса «Основы BIM» в Satbayev University с опорой на «умный кампус» как полигон для командных мини-проектов (сквозной цикл от моделирования до проверки и передачи данных) [238]. Статья в Вестнике ЕНУ описывает проектирование магистерской программы по BIM на основе национальных профстандартов, включая матрицу компетенций и выравнивание учебных результатов под роли на рынке (координатор/менеджер BIM, CDE-администратор и др.) [239].

Параллельно Национальная система квалификаций («Атлас новых профессий и компетенций») закрепляет BIM-профили — «цифровой проектировщик (BIM-специалист)», «инженер BIM», «менеджер BIM», что институционально поддерживает формирование кадрового контура [240].

Появляются эмпирические статьи и отчёты, фиксирующие низкую/умеренную распространённость BIM и повторяющиеся барьеры (спрос со стороны заказчика, компетенции, стоимость). Работа Aitbayeva & Hossain (2020) — одна из первых, где систематизированы препятствия и предложен каркас мер (стандартизация, обучение, мандаты) с привязкой к контексту РК [241]. В совокупности с данными прикладных исследований (координация, устойчивость, образование) это формирует более целостную картину: локальные практики постепенно прорастают, но скорость масштабирования определяется регуляторными и институциональными драйверами.

В последнее десятилетие спектр исследовательских работ в РК стал ощутимо более «прикладным»: от обзоров отраслей-лидеров — к проверке конкретных процедур (clash detection, CDE, BEP), к увязке BIM с национальной системой оценки устойчивости и к проектированию профильных образовательных программ. Параллельно развивается институциональная обвязка (ТИМСО, GBIM, профстандарты, buildingSMART). При этом доля исследований на стадии эксплуатации (AIM/asset information, интеграция с эксплуатационными системами) и количественная оценка экономических эффектов BIM пока остаются ограниченными — это потенциально важные цели для дальнейшей академической и отраслевой повестки. Также отчеты о ведомственных исследованиях остаются недоступными для широкого круга специалистов

Организационная структура

Запуск работ по внедрению BIM был инициирован государством в декабре 2017 г. В рамках программы «Цифровой Казахстан», в которой цифровизация строительства обозначена одним из приоритетов. В апреле 2017 г. утверждён Приказ № 197 с детализированным «Планом мероприятий по внедрению BIM» (далее — План) (Рис.30). Его реализация была привязана к Комитету по делам строительства и предусматривала разработку

нормативной базы, подготовку кадров, пилотные проекты, создание Государственного банка информационных моделей (ГБИМ) и оцифровку отраслевых каталогов. Координационная закреплялась за курирующим вице-министром, а основным исполнителем выступал национальный институт АО «КазНИИСА», которому поручалась большая часть разработок стандартов и методик [226; 242].

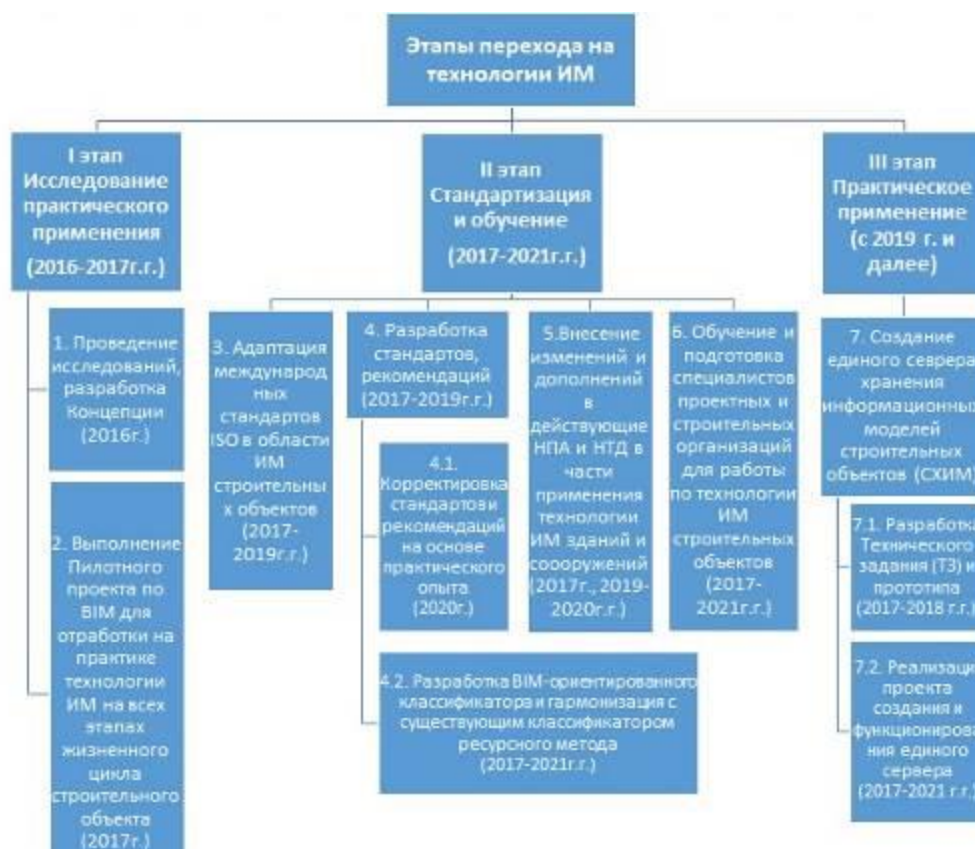


Рисунок 30. Этапы перехода на информационное моделирование в РК согласно концепции внедрения 2017 года

Именно КазНИИСА был назначен ответственным по наиболее важным блокам: подготовительные исследования, разработка РДС и СП, BIM-классификатор ТИМСО, методики и учебные материалы; совместно с РГП «Госэкспертиза» и акиматом г. Астана — пилотные проекты; совместно с КДСиЖКХ/КТРМ — адаптация международных стандартов (ISO/IFC) [26]. Это упрощало контроль и координацию действий в рамках ответственности КазНИИСА, но отрицательно сказалось на масштабе и степени внедрения, так как действия фактически ограничивались зоной влияния одной компании. Координация и контроль других организаций, участвовавших во внедрении, был осложнен, поскольку они не были подотчетны КазНИИСА, а отдельной вышестоящей группы по координации не было создано (Рис.31).



- КДСыЖКХ - Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства;
- КТРМ - Комитет технического регулирования и метрологии;
- МОН РК - Министерство образования и науки Республики Казахстан;
- АО «КазННИСА» - Акционерное общество «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры»;
- РГП «Госэкспертиза» - Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Государственная ведомственная экспертиза проектов» (РГП «Госэкспертиза») Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан;
- ОЮЛ «АНМСО» - Объединение юридических лиц «Ассоциация информационного моделирования в строительной отрасли»;
- ОЮЛ «АНСТРК» - Объединение юридических лиц «Ассоциация «Индустриальные строительные технологии Республики Казахстан»;
- РОЮЛНП «НАПРК» - Республиканское объединение юридических лиц и индивидуальных предпринимателей «Национальная ассоциация проектировщиков Республики Казахстан»;
- ТОО «ПА «KAZGOR» - Товарищество с ограниченной ответственностью «Проектная академия «KAZGOR»;

Рисунок 31. Распределение основных задач по плану внедрения ТИМСО по участникам

На РГП «Госэкспертиза» возлагалась разработка и апробация регламента экспертизы информационных моделей (СП РК «Порядок проведения экспертизы информационных моделей») и участие в пилотах; однако на практике подача на экспертизу по состоянию на 2024–2025 гг. остается «традиционной» (комплект проектной документации) с возможностью предоставления ВМ-модели дополнительно. Это отражено и в динамике внедрения ГБИМ/ЕПСД: ведомство последовательно объявляло о

тестировании ГБИМ и интеграции «единого окна» ЕПСД, но до полноценного режима проверки «модель-взамен-чертежей» ещё не дошло [243; 244].

По линии профессионального сообщества в плане внедрения были упомянуты НАПРК, а также АИМСО и АИСТРК. Однако с точки зрения открытой верифицируемой активности последние две структуры демонстрируют крайне скромный цифровой след: публичных сайтов, регулярных отчётов и программ не обнаруживается, что ограничивает их фактическую роль в коммуникации и просвещении рынка. Реальная общественная активность концентрировалась вокруг НАПРК (опросы и методические дискуссии), а также отдельных площадок: конференции КазНИИСА; форумы в Satbayev University и других учебных заведениях; ALCOR BIMDAY и др.

Кадровые задачи планировалось решать преимущественно через внутриотраслевую подготовку: разработка методик и обучение возлагались на КазНИИСА и Проектную академию KAZGOR (с софинансированием за счёт собственных средств исполнителей), тогда как системная интеграция в высшее образование не предполагала выделенного финансирования, что привело к фрагментированным инициативам вузов (Satbayev University, др.) и доминированию корпоративного обучения (KAZGOR, Noventiq/Autodesk и пр.) [245].

Планом правительства также были обозначены «узловые» инфраструктурные элементы: ГБИМ и оцифровка архитектурно-градостроительного и строительного каталога (в т. ч. анализ CORENET/ePlanCheck, семантическое описание терминологии, цифровизация НПА/НТД). ГБИМ как система действительно запущен в опытную эксплуатацию; публичный интерфейс представлен как защищённый ресурс (авторизованный доступ), однако открытого общедоступного каталога моделей к сожалению нет. Оцифровочные работы по каталогам и НПА реализуются в рамках ЕПСД/портала отрасли и тематических проектов КазНИИСА [246].

Что касается пилотирования, ответственными за сбор и анализ результатов применения BIM на реальных объектах обозначены КазНИИСА, РГП «Госэкспертиза» и акимат г. Астана. Тот факт, что Астана фигурирует как единственная площадка для апробации (включая анализ CORENET/ePlanCheck), предопределило слабую представленность регионального уровня в ранней модели внедрения.

Взаимодействие с международными институтами и вендорской экосистемой долгое время носило преимущественно точечный характер. Можно отметить, что в марте 2024 г. Казахстан присоединился к buildingSMART International как «Developing Chapter», что создаёт канал для гармонизации с ISO 19650/IFC и обмена практиками; вместе с тем публичная активность казахстанского отделения пока в стадии становления (buildingSMART International, 2024). На рынке обучения и технологий доминируют частные игроки, действующие через партнёрские сети

глобальных вендоров (Autodesk, др.) и локальные учебные центры, что частично дополняет образовательные программы в вузах.



Рисунок 32. Организационная структура на 1-м этапе внедрения ТИМСО

В сумме организационная модель внедрения BIM в Казахстане сочетает сильную централизацию разработки нормативной и методической базы (КазНИИСА) с ограниченной вовлечённостью регионов и академического сектора и с рыночной, «снизу-вверх» поддержкой по линии обучения/ПО (Рис.32). Системные элементы (ГБИМ, цифровые каталоги, регламент экспертизы модели) находятся в ходе поэтапного запуска, но некоторые значимые функции (экспертиза, закупки) до сих пор опираются на традиционный состав документации, а BIM выступает дополнением, а не «единой средой правового обмена». Это объясняет выявленный в опросах и прикладных работах разрыв между декларируемой зрелостью и практикой применения на уровне EIR/CDE/AIM и т. п., а также подчёркивает, что «узкое место» — не столько в инструментах, сколько в институциональной интеграции процессов.

Финансирование. Финансирование внедрения BIM в Казахстане имело смешанную модель: государство покрывало «скелет» отраслевой цифровой инфраструктуры и нормативно-классификационные работы, тогда как затраты на организационные изменения у участников рынка (ПО, оборудование, обучение) преимущественно относились на их собственные средства. В «Цифровом Казахстане» строительство обозначено направлением цифровой трансформации, но целевые бюджетные суммы именно по BIM/ТИМСО публично не детализировались.

В утверждённом «Плане мероприятий по внедрению BIM» по каждой задаче указаны источники: разработка стандартов и BIM-ориентированного классификатора (ТИМСО) — республиканский бюджет; создание и сопровождение ИТ-платформ (ГБИМ, интеграция с ЕПСД) — республиканский бюджет; подготовка и переподготовка специалистов в

проектных организациях — «собственные средства АО „КазНИИСА“ и заинтересованных организаций»; разработка материалов для вузов — «не требуется» (без выделенной бюджетной строки); пилотные проекты — как правило, без отдельного бюджетного обеспечения (Ministry for Investments and Development of the Republic of Kazakhstan, 2017/2018).

Предпринятые меры и достигнутые показатели

Государственная политика и мандаты. Государственная политика в части BIM в Казахстане опирается на «мягкий» регуляторный каркас (Рис.33). Разработанные и принятые документы задают процедуры управления информацией (включая требования к составу данных и обмену, CDE, регламент экспертизы ИМ) и возможность использования инфраструктурных сервисов (ЕПСД, ГБИМ), однако по умолчанию имеют рекомендательный характер и становятся обязательными только там, где на них прямо ссылается задание/контракт заказчика; универсального императивного мандата не установлено. В существующих публикациях содержится информация по обязательному применению BIM для технологически (2023) и позднее технически сложных объектов (2025) с бюджетным финансированием [59], но тезисы о «вступившей в силу обязательности» не подкреплены ссылками на конкретные НПА общегосударственного уровня.



Рисунок 33. План внедрения мандата на использование информационного моделирования в РК

Оценочно, такая политика снижает риски «регуляторного шока» и даёт время на выстраивание процедур и ИТ-контуров, но одновременно порождает высокую вариативность практик между сегментами и регионами, усиливает транзакционные издержки (параллельное ведение модели и «бумажного» комплекта) и замедляет выравнивание зрелости: степень

фактической обязательности BIM определяется не нормой общего действия, а условиями конкретного ТЗ/EIR.

3.2. Отраслевые стандарты и лучшие практики

Разработка нормативных документов, регулирующих применение технологий информационного моделирования (BIM/ТИМСО) в строительстве РК, началась в 2016–2017 гг. 20 декабря 2017 г. утверждена «Концепция внедрения технологии информационного моделирования в промышленное и гражданское строительство Республики Казахстан», задавшая цели и основные шаги гос-поддержки. В 2017 г. вышел первый специализированный свод правил — СП РК 1.02-111-2017 «Применение информационного моделирования в проектной организации». В 2018 г. утверждён базовый РДС РК 1.02-04-2018 «Информационное моделирование в строительстве. Основные положения», который унифицировал терминологию (в т.ч. закрепил употребление аббревиатуры ТИМСО) и структуру жизненного цикла объекта для целей информационного моделирования; одновременно опубликован пакет сводов правил (СП РК 1.02-112...1.02-117-2018), а в 2019 г. — продолжение серии (СП РК 1.02-118...1.02-121-2019), охватывающее стадии строительства и эксплуатации и вопросы организационного применения.

К 2023 также была сформирована линейка национальных стандартов BIM на базе международных ISO, охватывающая методологию, обмен и управленческие процессы, классификацию и формат данных. Методологический каркас закреплён через СТ РК ISO/TS 12911-2017 (основные положения BIM) и СТ РК ISO 19650-1/-2-2019 (принципы и требования управления информацией на стадиях реализации), принятые в национальном фонде стандартов. Дополнительно зафиксирована цепочка стандартов по информационным требованиям и обмену: СТ РК ISO 29481-1-2017 (Information Delivery Manual) принят, а часть 2 (Interaction Framework) упомянута в «дорожной карте» и профильных перечнях как адаптируемая/применяемая позиция. Для классификации и структурирования сведений приняты СТ РК ISO 12006-2-2017 (основы классификации) и семейство 81346: СТ РК ISO 81346-12-2019 (структурирование объектов капитального строительства) и СТ РК IEC/DIS 81346-2-2019 (коды классов объектов), что обеспечивает совместимость с BIM-ориентированными классификаторами. В части формата данных утверждён СТ РК ISO 16739-2017 (IFC), обеспечивающий обмен моделями между системами проектирования и эксплуатации. Поддерживающие позиции включают СТ РК ISO 16354-2017 (библиотеки данных/объектов) и блок по закупкам — СТ РК ISO 10845-1-2023 (процессы и процедуры в строительных закупках), позволяющий связывать BIM-требования с контрактной практикой. В совокупности этот пакет (12911; 29481-1/-2; 12006-2; 81346-12/-2; 16739; 19650-1/-2; 16354; 10845-1) сформировал национальную базу, функционально охватывающую: принципы и процессы BIM-менеджмента,

IDM-модели процессов и требований к информации, классификацию и структурирование объектов, открытый формат IFC для обмена данными и увязку с процедурами закупок — с регистрацией в 2017–2019 гг. (ядро) и точечными дополнениями в 2023 г. (закупки).

В результате к 2020 году Казахстан сформировал одну из первых в СНГ комплексных национальных систем стандартов по информационному моделированию, гармонизированных с передовыми зарубежными подходами.

Однако, надо отметить, что разработанные стандарты и рекомендации в большей степени основываются на международном опыте. Связь с успешным практическим опытом применения BIM в Казахстане прослеживается плохо, в том числе в следствие того, что информации о реализованных примерах крайне мало, и она очень фрагментарна. Соответственно, пока рано говорить о том, что существующая нормативная база полностью адаптирована под местные условия. Требуется обеспечить регулярный прозрачный процесс обновления существующих документов с учетом изменений в технологиях и процессах и опирающийся на успешный локальный опыт их применения.

Пилотные проекты. О пилотных проектах в русле государственных инициатив доступной информации крайне мало. Из публичных подтверждений — сообщения РГП «Госэкспертиза» о наборе проектов для тестирования государственной платформы ГБИМ (лето 2022 г.) и о подведении итогов пилотного проекта (февраль 2024 г.). Однако помимо общей формулировки цели («проверка соответствия ГБИМ практике проектирования») конкретные объекты, состав данных, методика оценки и количественные эффекты не раскрыты [243; 244]. Также упоминаются проекты ПСС/ГРАЙТЕК совместно с КазНИИСА (детский сад на 240 мест) как кейсы методической и инструментальной поддержки [247].

Существует доступная информация по корпоративным примерам внедрения, из которых частично можно судить о практике. У крупного девелопера BI Group описаны собственные инструменты на базе API Revit (модуль BIRD для автоматизированной генерации концептов, интеграция с 1С), зафиксированы эффекты в сроках и издержках на стадии предпроекта [248]. Эти примеры демонстрируют внутренние выгоды и развитие компетенций, но они, как правило, не встроены в государственную систему обратной связи (нормативы, ГБИМ, экспертиза) и потому слабо влияют на отраслевые практики.

В целом несмотря на то, что пилотные проекты вероятно проводились, так как это было заложено в план внедрения, информации о них практически нет. Можно утверждать, что в стране в целом не сложилась тенденция открыто публиковать информацию о пилотных проектах, что в значительной степени снижает их ценность для распространения BIM.

Наиболее системные эмпирические данные о внедрении BIM в Казахстане дают три волны опросов, проведённых Национальной

ассоциацией проектировщиков РК в 2020, 2022 и 2024 годах [249–251]. Исследования выполнялись по единой методике онлайн-анкетирования: приглашение рассылалось примерно 600 проектным организациям, в последней волне (2024 г.) было получено 112 ответов, что соответствует охвату около 22 %. Динамика распространения BIM демонстрирует сначала рост, а затем спад: если в 2020 году применение или попытку применения BIM заявляли 21 % компаний, то к 2022 году показатель увеличился до 48 %, а в 2024 году снизился до 39 %. Организаторы объясняют это снижением рыночной активности и изменением состава респондентов.

Структура выборки в 2024 году включает как малые организации (до 20 сотрудников; 56 %), так и средние и крупные компании. По видам деятельности доминируют архитектурные бюро (около 71 %), однако значимую долю также составляют конструкторские и линейные направления.

В опросе 2024 года отдельно оценивался уровень зрелости процессов среди тех компаний, которые заявляют применение BIM. О наличии среды общих данных (CDE) сообщили около 50 % респондентов; план выполнения BIM-проекта (BEP) используют порядка 39 %; формализованные требования к информации (OIR/AIR/EIR/PIR) применяют около 33 %. Более продвинутые практики встречаются значительно реже: наличие информационной модели актива (AIM) отметили 15 % участников, уровень потребности в информации (LoIN) — 13 %, а план поставки информации (MIDP) — лишь 7 %. Эти показатели свидетельствуют о частичной институционализации принципов ISO 19650 на уровне проектных организаций, но также фиксируют существенный разрыв между формальной осведомлённостью и фактическим применением. Так, о знании национальной методики ТИМСО заявили 39 % опрошенных, тогда как используют её только 16 %; по ISO 19650 соотношение составило 43 % и 22 % соответственно.

Отношение к возможному обязательному мандату на применение BIM в целом положительное: около двух третей (66 %) респондентов ожидают, что он ускорит цифровизацию отрасли; 11 % полагают, что значимых изменений это не принесёт, а от 23 до 35 % выражают опасения относительно готовности рынка — диапазон зависит от формулировки вопроса в разных волнах опроса.

В числе основных препятствий к внедрению постоянно упоминаются: низкий спрос со стороны заказчиков, кадровый дефицит, высокая стоимость внедрения, несогласованность нормативной базы и отсутствие стимулирующих мер. При этом респонденты одновременно отмечают потенциальные выгоды применения BIM — более точные спецификации, сокращение числа коллизий, повышение согласованности данных. Однако реальный эффект в виде снижения трудозатрат и стоимости реализации проектов фиксируется значительно реже, что соответствует начальному этапу организационного освоения технологии.

Опыт внедрения BIM в Казахстане демонстрирует противоречивый результат: при наличии стратегических документов и формального

закрепления задач перехода к цифровому моделированию, фактический процесс оказался фрагментарным и малоэффективным. Для объективной оценки целесообразно рассмотреть механизмы внедрения в сопоставлении с международным опытом (Рис.34).

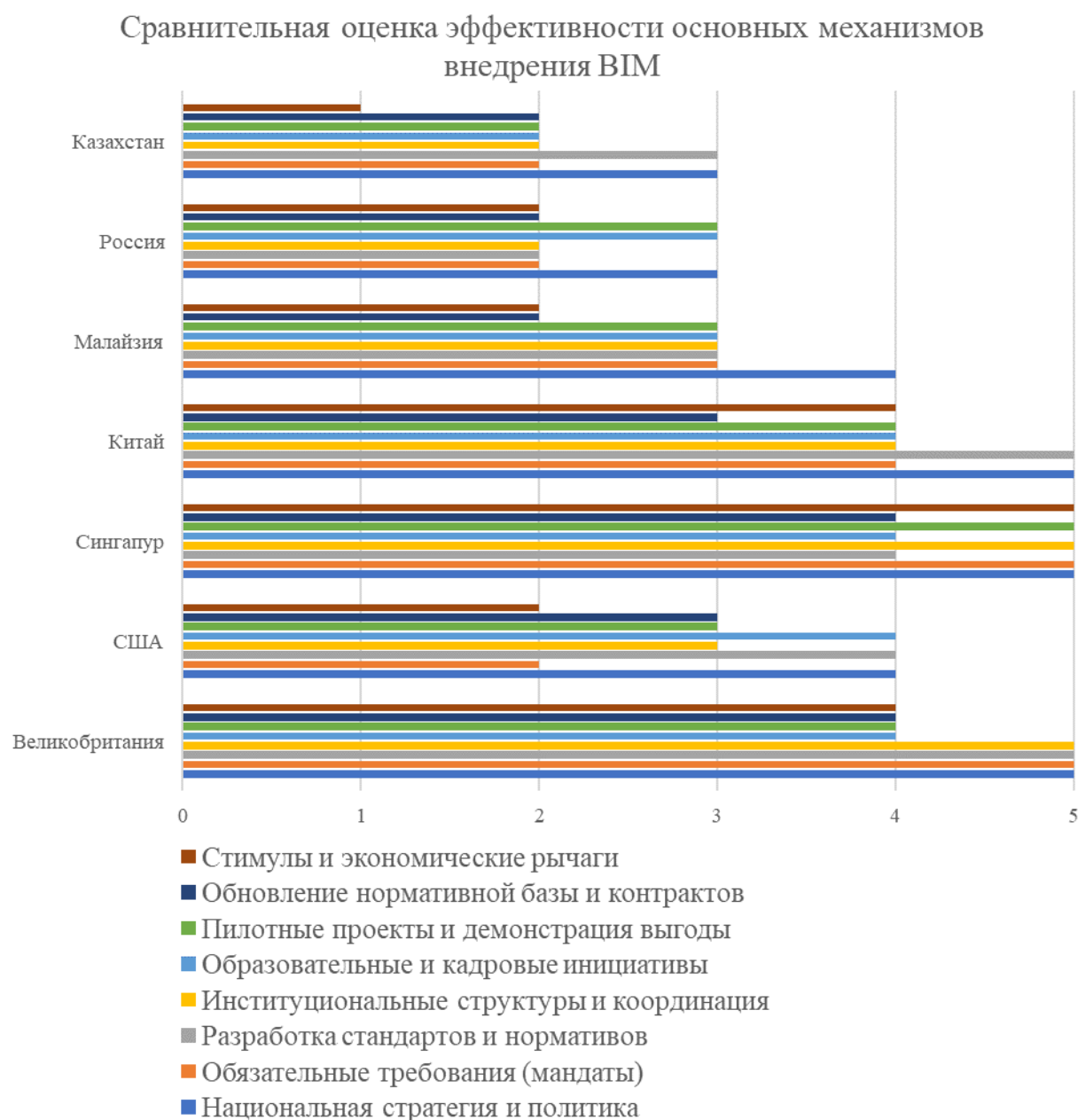


Рисунок 34. Оценка внедрения BIM по основным механизмам

Во-первых, национальная стратегия. В Казахстане BIM был включён в программу «Цифровой Казахстан», однако увязка с более широкими инициативами цифровизации оказалась слабой. BIM рассматривался как локальный проект строительной отрасли, тогда как в Великобритании или Сингапуре он был интегрирован в комплексные государственные реформы, затрагивавшие закупки, регулирование и управление данными. Такой отрыв от общей цифровой повестки ограничил восприятие BIM как системного инструмента модернизации отрасли.

Во-вторых, обязательные требования. В нормативных документах Казахстана формулировались условия применения BIM, например, в отношении сложных объектов с государственным финансированием. Однако фактически они носили рекомендательный характер и редко учитывались в практике экспертизы или госзакупок. В результате внедрение оставалось добровольным, что предопределило низкий уровень распространения. Для сравнения, в Великобритании именно жёсткий мандат на использование BIM Level 2 во всех государственных проектах стал переломным моментом, а в Сингапуре мандат в сочетании с системой CORENET обеспечил почти полное покрытие отрасли. В России и Малайзии, где обязательность была ограниченной или отсроченной, результат оказался сходным с опытом Казахстана: технологии распространялись медленно и в основном инициативами крупных компаний (BI Group, Базис А, КАЗГОР и др.), которые фактически внедряли BIM самостоятельно.

В-третьих, стандарты и нормативы. Казахстан пошёл по пути адаптации международных стандартов (ISO 19650 и др.), что само по себе отвечает международной практике. Однако проблема заключалась в отсутствии полноценных методических материалов и в том, что разработанные документы не были связаны с «лучшими практиками» реализации конкретных проектов. В отличие от Великобритании, где система стандартов сопровождалась открытыми кейсами и рекомендациями, или Китая, где стандартизация сочеталась с демонстрацией пилотных проектов в пилотных городах, в Казахстане эта связь не прослеживается. Это лишает стандарты практической силы и превращает их в формальные документы.

Четвёртый аспект — институциональная координация. Основная нагрузка по разработке и внедрению нормативов была сосредоточена в КазНИИСА. Однако эта организация не имела реальных рычагов влияния на образовательные учреждения, проектные компании или органы экспертизы. В результате усилия носили изолированный характер. В отличие от Великобритании (где BIM Task Group обеспечила согласованность между государством, бизнесом и академической средой) или Китая (где вертикальная система управления позволила масштабировать практики на уровне городов), Казахстан не сумел выстроить координационный механизм. В этом отношении опыт РК ближе к России, где тоже наблюдалась институциональная фрагментация и конкуренция между ведомствами. Это привело к сокращению охватов и несогласованности действий лидеров рынка, академического сообщества и лидеров рынка.

Пятый элемент — образование и подготовка кадров. В Казахстане университеты начали внедрять BIM-дисциплины и программы самостоятельно, с 2017 года, когда в Satbayev University при поддержке КАЗГОР была внедрена дисциплина «Основы BIM технологий». Позднее с 2022 по 2024 ВКТУ им. Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск), КУ им. Ш. Уалиханова (Кокшетау) а также в Satbayev University были открыты первые программы по подготовке BIM специалистов в Казахстане: 6B07309 «BIM-технологии в проектировании», 6B07301 «BIM проектирование зданий и

сооружений», «6B07311 — BIM-проектирование и управление строительством». Как видно из названий это аналогичные специальности, которые однако имеют различные шифры, что подчеркивает несогласованность в формировании таких программ. Это говорит о том, что Министерство Образования и Науки, на которое возлагались соответствующие функции в плане по внедрению, не смогло в должной мере их реализовать. Для сравнения, в Сингапуре создание Академии ВСА и финансирование обучения через BIM Fund позволили за короткое время подготовить кадры и снизить барьеры входа. В Китае с 2018 года BIM был закреплён как отдельное направление высшего образования, что способствовало формированию кадрового резерва. В Казахстане же образовательные инициативы развиваются стихийно и слабо связаны с рынком. В следствие этого в индустрии ощущается большой дефицит квалифицированных BIM специалистов, особенно в смежных областях (сметчики, геодезисты, инженеры и др.), которые проявляют меньше интереса к внедрению. Во многом подготовка подобных специалистов была возложена на проектные организации, что не обеспечивало ни качества, ни масштаба.

Шестой блок — пилотные проекты. Несмотря на то, что в планах обозначались пилотные проекты в Астане, в открытых источниках отсутствует достоверная информация об их реализации и результатах. Одиночные кейсы применения BIM (например, EXPO-2017 или отдельные проекты VI Group) имеют скорее корпоративное значение и не интегрированы в государственную систему внедрения. В отличие от Китая или Великобритании, где пилоты служили площадкой для тестирования и распространения практик, в Казахстане этот инструмент оказался задействован формально, без должной прозрачности. В итоге в отрасли нарастает недоверие к BIM, поскольку достоверной информации об эффективных результатах использования в Казахстане практически нет.

Седьмой аспект — обновление нормативной базы. Задачи по актуализации стандартов и гармонизации с международными практиками декларировались, но механизмов их реализации не просматривается. В отсутствие описания и анализа лучших практик внутри страны невозможно судить, насколько нормативные обновления отражают реальную динамику рынка. Это контрастирует с Китаем и Великобританией, где пересмотр стандартов напрямую связан с мониторингом пилотных проектов и практическим опытом.

И наконец, экономические стимулы. В Казахстане не было предусмотрено значимых инструментов поддержки внедрения: ни субсидий на приобретение ПО и обучение, ни фондов по типу сингапурского BIM Fund. Соответственно, для малых и средних компаний переход оставался экономически обременительным. В результате распространение BIM определяется не государственной политикой, а инициативами отдельных компаний, как это наблюдается и в Малайзии.

Таблица 8. Оценка внедрения BIM в Казахстане

Механизм внедрения	Оценка	Обоснование	Последствия сейчас	Возможные последствия в будущем
Национальная стратегия и политика	3	ВІМ был включён в «Цифровой Казахстан» (2017), но без тесной увязки с другими направлениями цифровизации (e-gov, смарт-сити). Стратегия декларативна, слабо институционализирована.	Отсутствие системности и межотраслевой координации, слабая видимость ВІМ в цифровой повестке.	Риск маргинализации ВІМ внутри цифровизации, слабая интеграция с будущими цифровыми платформами.
Обязательные требования (мандаты)	2	СП РК (2017) предусматривал обязательность ВІМ для сложных гособъектов, но на практике требования игнорировались. Мандат 2022 г. для бюджетных объектов действует формально, но механизм контроля отсутствует.	Разрыв между нормами и практикой; компании не воспринимают мандаты как реальный стимул.	При сохранении ситуации мандаты будут оставаться декларативными, без изменения поведения участников рынка.
Разработка стандартов и нормативов	3	Приняты адаптированные СТ РК ISO (12911, 29481, 19650 и др.), разработаны классификаторы и каталоги (ТИМСО). Однако обновление нерегулярное, доступ ограничен, практическая связь со строительными кейсами отсутствует.	Стандарты существуют «на бумаге», но плохо интегрированы в практику и не поддерживаются пилотами.	Риск устаревания и расхождения с международными стандартами; компании будут ориентироваться на ISO напрямую.
Институциональные структуры и координация	2	Все основные функции сосредоточены в КазНИИСА, но влияние института на рынок ограничено. АИМСО и АИСТРК фактически неактивны. НАПРК — единственная реально действующая профорганизация.	Отсутствие полноценного механизма координации; слабое вовлечение частных компаний и независимых ассоциаций.	Вероятно сохранение фрагментарности, риск «бумажных» реформ без реального охвата отрасли.

Образовательные и кадровые инициативы	2	Ответственность за обучение возложена на проектные организации без выделенного бюджета. Вузы (например, Satbayev University) внедряют BIM-программы самостоятельно. Министерство образования фактически не вовлечено.	BIM-образование развивается точно и несистемно, связь с рынком фрагментарная.	Риск дефицита кадров и низкой квалификации специалистов; замедление темпов внедрения.
Пилотные проекты и демонстрация выгоды	2	В Плане упоминались пилоты в Астане, но их результаты не опубликованы. Частные компании (BI Group, КазГОР) делали свои пилоты, но связь с гос-внедрением минимальна.	Отсутствие доказанной «ценности» BIM для отрасли; недоверие участников рынка.	Без демонстрации выгод трудно масштабировать BIM; риски стагнации.
Обновление нормативно-правовой базы и контрактных	2	Обновление стандартов декларируется, но процесс непрозрачен; правовая база для BIM-контрактов слабо развита. Нет практики «best practice» в описаниях.	Применение BIM осложнено правовыми и договорными рисками.	Без реформ контрактной базы BIM не будет интегрирован в управление жизненным циклом.
Стимулы и экономические рычаги	1	Нет фондов наподобие сингапурского BIM Fund. Все расходы на ПО, обучение и оборудование ложатся на компании.	Для малого и среднего бизнеса внедрение экономически невыгодно.	Рынок будет внедрять BIM точно, без масштабирования.

В целом можно характеризовать модель внедрения в Казахстане как «Внедрение с упором на координацию и контроль», поскольку наиболее сильными сторонами внедрения (относительно других сторон) оказались нормотворчество и стратегия внедрения. Однако в связи с вышеописанными проблемами государство столкнулось с такими проблемами как неравномерный охват и отраслевое расслоение, слабая реализация заявленных целей программ, ограниченная интеграция в отрасль.

В совокупности это позволяет сделать вывод, что государственные усилия Казахстана не обеспечили системного эффекта. В отличие от Великобритании и Сингапура, где внедрение BIM стало частью стратегических реформ и сопровождалось жесткими мандатами, поддержкой и пилотными проектами, в Казахстане процесс носил декларативный и частично формализованный характер. BIM развивается преимущественно по инициативе рынка, фрагментарно и неравномерно, без устойчивой

координации и поддержки. Это приближает казахстанский опыт скорее к российскому или малайзийскому сценарию, где отсутствие жёстких требований и системных стимулов не позволило достичь значимого прогресса на уровне всей отрасли.

ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЦЕССУ ВНЕДРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНЕ

Экономическое обоснование внедрения

В основании для формулирования практических рекомендаций по внедрению BIM-технологий целесообразно использовать не только качественные аргументы, но и ориентировочную оценку экономического потенциала цифровизации на уровне государственных строительных программ. Анализ приложений к Закону Республики Казахстан «О республиканском бюджете на 2025–2027 годы» показывает, что суммарный объём бюджетных ассигнований на новое строительство и крупные строительные проекты (с учётом объектов социальной, инфраструктурной и промышленной направленности) в указанный период составляет порядка 845 млрд тенге (в ценах 2025 года, при пересчёте из значений в тыс. тенге). В среднем это эквивалентно $\approx 280\text{--}285$ млрд тенге в год, приходящихся на строительство объектов с прямым государственным участием. Из этой суммы около 650 млрд тенге приходится на гражданские объекты (жильё, образование, здравоохранение, спорт, административные и общественные здания), порядка 125 млрд тенге – на инфраструктурные проекты (транспорт, пункты пропуска, системы водоснабжения и др.) и около 70–75 млрд тенге – на промышленные и высокотехнологичные объекты (включая космическую и цифровую инфраструктуру).

Мировая практика показывает, что при зрелом уровне применения BIM на уровне отрасли прямые затраты на строительство могут снижаться в среднем на 5-10 % за счёт уменьшения числа неучтённых изменений, более точной сметной оценки, снижения объёмов переделок и коллизий, а также оптимизации организации строительства. Ряд обзоров и эмпирических исследований фиксирует именно такой порядок эффекта: так, систематические работы (Dodge Data & Analytics, McGraw-Hill и др.) и целевые кейс-стади для крупных объектов указывают на экономию порядка 10 % по стоимости строительства при внедрении BIM как стандартной практики, а в отдельных проектах – до 15–20 % и выше.

Если экстраполировать этот диапазон на казахстанский портфель государственных строек, то при выходе на зрелый уровень использования BIM (на большей части объектов с госфинансированием) потенциальный объём прямой экономии может составить порядка 28–56 млрд тенге в год. Даже с учётом допущений и неопределённостей, это позволяет говорить о десятках миллиардов тенге ежегодно, которые могут быть высвобождены за счёт повышения эффективности управления строительством.

Такой порядок цифр задаёт рамку для обоснования масштабов инвестиций в инфраструктуру внедрения BIM. Если считать экономически оправданным направлять на разработку стандартов, инструментов, создание общей среды данных (CDE), обучение кадров, поддержку пилотных проектов

и модернизацию требований к госзакупкам, финансовые меры по поддержке участников внедрения и другие меры хотя бы 15–20 % от потенциальной годовой экономии, то объём целевых вложений может составлять примерно 5–10 млрд тенге в год. При этом даже частичное достижение эффектов BIM на уровне 5–7 % от годового объёма строительства (то есть порядка 14–20 млрд тенге в год) позволяет ожидать окупаемости таких вложений в горизонт 3–5 лет при условии поэтапного введения мандата на обязательное применение BIM для государственных объектов. Таким образом, переход к нормативно закреплённому использованию BIM в госсекторе может рассматриваться не как дополнительная нагрузка на бюджет, а как инвестиционный проект с понятным горизонтом окупаемости и кумулятивным эффектом.

Нужно учитывать, что кроме объектов, полностью осуществляемых за государственный бюджет, существует множество проектов, осуществляемых в форме государственно-частного партнерства. По данным с сайта <https://kzppp.kz> за последние 10 лет общий объем финансирования на строительство, реконструкцию, модернизацию и эксплуатацию гражданских объектов было затрачено более 700 млрд. тенге. Также множество проектов осуществляются непосредственно местными органами и находятся на их балансе. Таким образом потенциальные экономические выгоды от внедрения BIM могут быть еще больше обозначенных ранее сумм.

Вместе с тем достижение экономии на уровне 10–20 % от всего объёма государственного строительства в Казахстане следует рассматривать как долгосрочную цель, в связи с барьерами в выравнивании практик по регионам, адаптацией организационных механизмов и формированием устойчивой BIM-экосистемы. В реальных условиях ближайших лет закономерен неравномерный характер внедрения: крупные заказчики республиканского уровня и мегаполисы будут осваивать технологии быстрее, тогда как часть региональных управлений строительства и коммунальной инфраструктуры, напротив, будет отставать. Это предполагает дифференцированный подход к формированию дорожной карты: обязательное применение BIM для определённых категорий объектов и бюджетных порогов, параллельную поддержку регионов и постепенное ужесточение требований.

Особый интерес в горизонте ближайших трёх лет представляют крупнейшие государственные проекты с высокой капиталоемкостью и значительным объёмом повторяемых решений. К ним относятся, прежде всего, национальный проект «Комфортная школа», строительство военного городка Национальной гвардии в Алматы, административный комплекс МВД в Астане, а также крупные спортивные и медицинские комплексы. В частности, проект «Комфортная школа», на который в 2025–2027 годах суммарно приходится порядка третьей части всех бюджетных ассигнований на гражданское строительство, создаёт уникальные условия для проведения показательных пилотных проектов BIM. Типологическая однородность школ, тиражируемость проектных решений и наличие схожих объектов,

реализуемых как с применением, так и без применения BIM, позволяют организовать методически корректное сравнение фактической стоимости, сроков и качества строительства. Это, в свою очередь, даёт возможность количественно зафиксировать величину сэкономленных средств и использовать полученные данные для тонкой настройки нормативной базы и экономических стимулов.

Внедрение BIM в сегменте промышленных и инфраструктурных проектов в казахстанском контексте, по суммарному объёму ассигнований, действительно даёт несколько меньший потенциал прямой экономии в абсолютных цифрах по сравнению с массовыми гражданскими стройками. Однако значимость этого направления не следует недооценивать. Во-первых, именно инфраструктура и высокотехнологичные объекты (транспортные коридоры, мосты, системы водоснабжения, космическая и цифровая инфраструктура) характеризуются высокими рисками по срокам и стоимости, а также сложной координацией участников, где BIM даёт непропорционально большой эффект в части управления рисками. Во-вторых, инфраструктурные проекты, как правило, реализуются малыми сериями, но с длительным жизненным циклом, что создаёт дополнительные выгоды на стадии эксплуатации и обслуживания при наличии информационной модели.

Поэтому рекомендации по внедрению BIM в Казахстане должны исходить из того, что основным драйвером цифровизации выступают крупные гражданские проекты, но стратегический эффект также будет во многом определяться качеством внедрения в инфраструктурном и промышленном сегментах, где решается задача долгосрочной конкурентоспособности и устойчивости национальной экономики.

3.1 Рекомендации по внедрению BIM в Казахстане

На основе проведенного анализа мирового опыта внедрения BIM в национальном масштабе, а также изучения аналогичных процессов в Казахстане были подготовлены рекомендации по их акселерации. Приведенные ниже предложения имеют достаточно общий характер, поскольку в данном исследовании не ставилась цель детально разобрать требующиеся формальные, политические и юридические процедуры. Тем не менее, на взгляд авторов, эти рекомендации соответствуют существующим в Казахстане условиям и могут быть адаптированы к конкретному применению специалистами архитектурно-строительной и смежных отраслей.

Опираясь на проведённый анализ международных моделей и результатов внедрения BIM в Республике Казахстан, можно заключить, что на следующем этапе целесообразно ориентироваться не на изменение выбранного курса, а на его углубление в форме гибридной модели. На первом этапе развитие шло преимущественно по линии нормативно-координационного подхода: были разработаны стандарты, регламенты, отдельные требования к госзаказу. Однако отсутствие устойчивых механизмов реализации, институциональной координации и кадровой

поддержки привело к фрагментарному характеру практики. Это задаёт рамку для переосмысления роли BIM в отраслевой политике.

Оптимальной для Казахстана на ближайшую перспективу представляется гибридная модель, в которой сохраняется координирующая функция государства (через стандартизацию и регулирование), но она дополняется двумя принципиальными компонентами. Во-первых, BIM должен быть интегрирован в более широкий контекст цифровой трансформации строительства и городского развития: информационное моделирование рассматривается не как отдельный инструмент проектировщиков, а как базовая инфраструктура данных для цифровых двойников объектов и территорий, для связки с кадастровыми, геоинформационными, эксплуатационными и иными государственными информационными системами. Во-вторых, ключевую роль в практическом распространении BIM следует закрепить за ведущими участниками рынка и академическим сообществом – крупными заказчиками, девелоперами, проектными и строительными организациями, профильными университетами и профессиональными ассоциациями, уже обладающими накопленным опытом.

В такой конфигурации государственная политика перестаёт быть преимущественно «нормативно-декларативной» и приобретает характер управляемой диффузии инновации. Нормативная база и стандарты по-прежнему задают общие требования и обеспечивают сопоставимость данных, но их содержание и обновление опираются на результаты реальных пилотных проектов и на экспертное участие профессионального сообщества. Интеграция BIM с национальными цифровыми платформами позволяет рассматривать затраты на его внедрение не как изолированный расход отрасли, а как инвестицию в общую систему управления построенной средой.

Приоритетными механизмами в рамках такой гибридной модели становятся: обновление национальной BIM-стратегии как составной части программы цифровизации строительства; формирование устойчивого межведомственного механизма координации с участием рынка и вузов; поэтапное, но юридически и процедурно обеспеченное распространение обязательных требований к BIM через государственный заказ в выделенных сегментах; системное развитие кадрового потенциала на уровне высшего образования, дополнительной подготовки и переподготовки специалистов; а также ограниченное число флагманских пилотных проектов с обязательной публичной оценкой результатов. Детализированное раскрытие указанных механизмов в последующих подразделах позволяет перевести предлагаемую модель из уровня концепции в уровень инструментально реализуемой программы, ориентированной на постепенный переход от фрагментарного к институционально закреплённому и экономически оправданному использованию BIM в строительном комплексе Республики Казахстан.

Структура рекомендаций соответствует теоретическим представлениям об основных механизмах внедрения BIM в национальном масштабе и таким образом отражает необходимый спектр мер.

3.1.1 Координация участников через единый орган

Рекомендуется образовать постоянный координационный совет по BIM. Такой совет должен обладать достаточным авторитетом и влиянием, чтобы направлять всех участников отрасли, включая консультацию различных министерств по вопросам внедрения. В состав должны войти представители основных стейкхолдеров: министерств и госзаказчиков, отраслевых ассоциаций (проектировщиков, строителей), экспертизы, крупных застройщиков, а также академического сообщества. Важно чтобы в совет вошли не только представители администрации, но и действующие практики, ученые, эксперты по отдельным узким вопросам. С другой стороны представители совета должны участвовать во всех важных процессах, касающихся внедрения проводимых различными участниками.

Функциями совета могли бы стать: контроль за выполнением «дорожной карты» BIM, мониторинг пилотных проектов, оценка и утверждение стандартов, инициирование необходимых нормативных изменений, а также распределение ресурсов стимулирования (субсидий, грантов). Наличие централизованной группы позволит согласовывать действия разрозненных участников и преодолевать недоверие к инновациям. Государство, выступая объединяющим звеном, сможет через такой орган обеспечить эффект синергии – обмен лучшими практиками на отраслевом уровне вместо изолированного движения компаний. Важно, чтобы координационный совет имел официальный мандат и отчетность, что придаст вес его решениям. К примеру, решения совета могут лечь в основу приказов или методических указаний для всех государственных заказчиков. Также совет мог бы инициировать форумы, рабочие группы по узким направлениям (стандарты, CDE, контрактные вопросы, образование и т.п.), тем самым охватывая весь спектр задач.

В отличие от текущей ситуации, когда аналогичные функции возложены на КазНИИСа, принципиально чтобы совет был независимой, некоммерческой организацией, в которой участникам были бы предоставлены равные права и влияние в обсуждении и принятии решений (Рис.35).

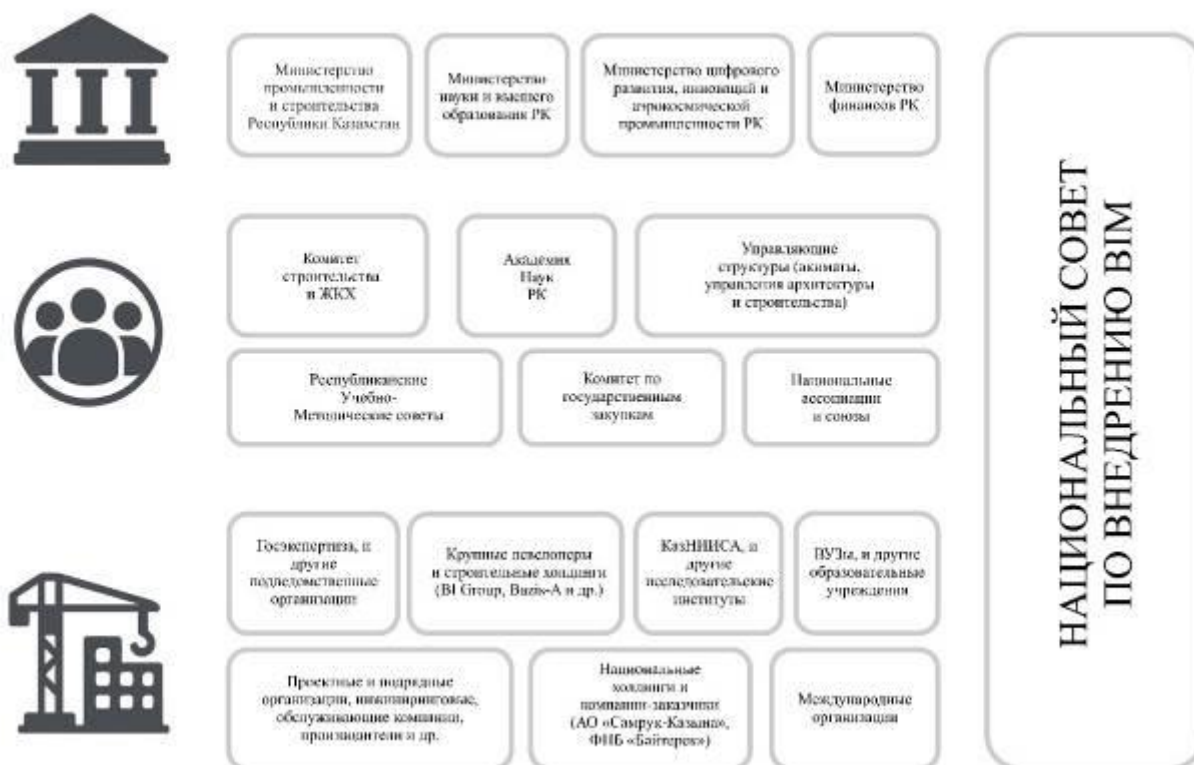


Рисунок 35. Рекомендуемая организационная структура процесса внедрения BIM в РК

Совет должен определить конкретные количественные цели внедрения и индикаторы, которые позволят контролировать продвижение к этим целям. Учитывая международный опыт предлагаются следующие ключевые показатели: общая экономия бюджета выделяемого на строительство гражданских объектов – 5%; сокращение расходов на строительство типовых объектов – 10%; количество организаций использующих BIM в проектировании – 80%, в строительстве, в строительстве 50%, в эксплуатации – 30%. Также необходимо определить меру ответственности Совета за достижение целевых показателей.

В целом, создание такого органа обеспечит целостное управление процессом внедрения BIM, повысит доверие между участниками и даст импульс реализации стратегии.

3.1.2 Программа стимулирования внедрения BIM

Необходимо разработать четкую программу стимулирования BIM, подкрепленную ресурсами. Координационный совет по BIM (из предложения 1) мог бы курировать данную программу.

В нее рекомендуется включить следующие инструменты поддержки: во-первых, *финансовые субсидии и гранты* на внедрение BIM. К примеру, государство может софинансировать приобретение лицензий программного обеспечения и оборудования для компаний, особенно СМБ-сектора. Международный опыт показывает эффективность подобного подхода: ряд стран предоставляли гранты или налоговые льготы организациям, внедряющим BIM, тем самым снижая барьер входа. Во-вторых, можно

ввести *преференции при государственных закупках*: компании, применяющие BIM, могли бы получать преимущества в тендерах (например, дополнительные баллы при оценке заявок). Подобные льготные условия участия в госзаказах стимулируют подрядчиков инвестировать в технологии. В-третьих, важны инвестиционные механизмы: например, создание фонда модернизации, выдающего льготные кредиты или беспроцентные ссуды на внедрение BIM под обязательство результата. Идея состоит в том, чтобы займы возвращались из средств, сэкономленных благодаря повышению эффективности проектов (экономия от сокращения переделок, оптимизации сроков и т.д.). Такой подход по типу *«инвестиций с возвратом с экономии»* мотивирует компании не только начать внедрение, но и максимально эффективно использовать BIM, чтобы достичь заявленной отдачи. В-четвертых, государство может финансировать пилотные проекты и *R&D в сфере BIM*: объявлять конкурсы на лучшие BIM-решения, создавать демонстрационные проекты на базе реальных объектов. В Китае, например, субсидирование цифровизации проектных институтов через госфонды и прямые выплаты компаниям за использование BIM на госстройках показали свою эффективность. Комбинация инвестиций, субсидий и рыночных стимулов снижает риски для бизнеса и делает участие в программе привлекательным.

В результате такой программы предприниматели будут видеть прямую материальную выгоду от перехода на BIM, а не только долгосрочные обещания. Важно предусмотреть также прозрачный отбор получателей поддержки и последующий контроль: компании-участники должны отчитываться о достижении показателей (доля проектов в BIM, сокращение издержек и т.п.). Таким образом, программа стимулирования, запущенная координационным органом, устранил один из распространенных барьеров внедрения и значительно ускорит цифровую трансформацию отрасли.

Отдельно рекомендуется обратить внимание на стимуляцию государственных учреждений, занимающих уже существующие здания, провести их реконструкцию и реорганизацию процессов эксплуатации с использованием BIM технологий.

3.1.3 Прозрачность пилотных проектов и обмен опытом

Для максимального эффекта пилотных проектов необходимо обеспечить их полную прозрачность и независимую оценку. Рекомендуется обязать всех участников государственных BIM-пилотов (госзаказчиков, проектные организации, экспертизу) регулярно публиковать отчеты о ходе пилота и его результатах. Такие отчеты должны содержать описание применённых BIM-решений, возникшие сложности, количественные показатели эффекта (например, сокращение сроков, число выявленных коллизий, экономия средств) и выводы по доработке нормативной базы.

Для практической реализации предложенной модели целесообразно опираться на портфель уже запланированных государственных строительных программ 2025–2027 годов. Анализ приложений к Закону Республики Казахстан «О республиканском бюджете на 2025–2027 годы» показывает, что

за этот период на новое строительство и крупные строительные проекты предусматривается порядка 845 млрд тенге, из которых около 650 млрд тенге приходится на гражданские объекты – в том числе образование, здравоохранение, жильё, объекты спорта и административные здания. Особое значение в ближайшей трёхлетней перспективе имеет национальный проект «Комфортная школа», на который суммарно приходится приблизительно треть всех бюджетных ассигнований на гражданское строительство; помимо него, выделяются строительство военного городка Национальной гвардии в Алматы, административный комплекс МВД в Астане, а также крупные спортивные и медицинские комплексы. Типологическая однородность школьных зданий, повторяемость проектных решений и наличие сопоставимых по параметрам объектов, которые могут быть реализованы как с применением, так и без применения BIM, создают оптимальные условия для постановки методически корректных пилотных проектов, позволяющих сопоставить фактические сроки, стоимость и показатели качества строительства и тем самым количественно оценить эффект цифровизации. При этом включение отдельных инфраструктурных и ведомственных объектов (военный городок, административный комплекс, спортивные и медицинские учреждения) расширяет типологический спектр пилотов и позволяет протестировать BIM-подходы в условиях повышенной сложности и различной организационной подчинённости заказчика.

С учётом бюджетного характера указанных объектов и необходимости соблюдения разумного баланса между затратами и ожидаемыми эффектами целесообразно задать для пилотных проектов стандартизированный, но экономически рациональный набор обязательных BIM-требований. В качестве минимального ядра следует предусмотреть формирование междисциплинарной информационной модели с использованием единой среды общих данных, интегрированной с существующими государственными цифровыми платформами (порталы госзакупок, государственная экспертиза, разрешительные сервисы), а также применение адаптированных национальных BIM-стандартов и процессов, в частности разработанных на основе ISO 19650 – с целью проверки их работоспособности. Для школьных и аналогичных социально значимых объектов необходимо требовать обязательную координацию разделов на основе модели и проведение проверки коллизий до выхода на стройплощадку; использование 4D-подхода, по крайней мере, на уровне увязки ключевых этапов строительства с моделью для планирования сроков; а также базовую 5D-компоненту в виде автоматизированного получения объёмов и контроля стоимости по основным конструктивным и инженерным системам. Ключевым элементом пилотов должно стать доведение модели до состояния «как построено» (as built) с заданным уровнем детализации и последующая передача её эксплуатирующей организации в составе исполнительной документации, включая структурированные данные по основным системам здания. Для сегмента школ и сопоставимых объектов целесообразно ограничиться простейшими, но показательными значимыми

решениями по эксплуатации – установкой и интеграцией с моделью базовых датчиков (энергопотребление, внутренний климат, при необходимости – посещаемость отдельных зон), что позволяет в дальнейшем использовать модель в качестве основы для систематического мониторинга эксплуатационных характеристик без существенного роста капитальных затрат. В совокупности такой набор требований обеспечивает, с одной стороны, репрезентативную проверку ключевых BIM-процессов на типичных социальных объектах, а с другой – сохраняет приемлемый уровень стоимости внедрения, что критически важно для масштабирования подобных практик на всю систему государственного строительства.

Чтобы повысить доверие к данным, важно привлечь к анализу независимых экспертов – представителей научного сообщества, отраслевых ассоциаций, международных консультантов. Например, университетские исследователи или специалисты *buildingSMART* могли бы проводить объективную оценку результатов пилотов и публиковать рецензии и статьи в научных изданиях. Все материалы также рекомендуется размещать на открытых платформах (веб-сайт координационного совета, профессиональные журналы, конференции), чтобы любая заинтересованная организация могла извлечь уроки. Такой подход устранил существующую замкнутость: вместо единичных закрытых отчетов появится общедоступный банк знаний по BIM в казахстанской практике. Это, во-первых, ускорит обучение рынка – компании будут видеть реальные кейсы и перенимать успешные практики. Во-вторых, обеспечит обратную связь для государства: станет ясно, какие нормативы работают, а что требует корректировки.

Международный опыт явно показывает пользу открытого обмена опытом: в Великобритании публикация отчета *Digital Built Britain* и широкое обсуждение стратегии позволили учесть мнения рынка и повысили качество внедрения. Казахстану целесообразно перенять эту практику. Более того, прозрачность пилотов усилит ответственность исполнителей: зная, что результаты будут публичными, участники проектов постараются достичь заявленных целей и качества. Отдельно следует закрепить, чтобы по итогам каждого пилотного проекта (или серии пилотных проектов) координационный совет проводил разбор «уроков проекта» и при необходимости вносил предложения по изменению стандартов или рекомендаций. Введение такой открытости потребует организационных изменений, но долгосрочно окупится ускорением распространения BIM-технологий по всей отрасли.

3.1.4 Развитие образования и согласование программ подготовки

Для долгосрочного успеха необходимо выстроить систему развития BIM-кадров на национальном уровне. Во-первых, при координационном совете следует создать экспертную группу по образованию, которая займётся обновлением государственных образовательных стандартов и профессиональных требований с учётом BIM. Все вузы и колледжи, готовящие архитекторов, инженеров и строителей, должны пересмотреть учебные планы: включить обязательные курсы по информационному

моделированию, практику работы с BIM-инструментами, основам CDE (общей среде данных) и командной цифровой координации. При участии государства можно разработать типовую программу или хотя бы методические рекомендации по BIM-обучению, чтобы унифицировать минимальный набор компетенций выпускников. В частности, можно использовать опыт разработки магистерской программы по BIM на базе национальных профстандартов в Казахстане уже есть – предложена матрица компетенций, увязывающая результаты обучения с востребованными ролями (BIM-координатор, BIM-менеджер, администратор CDE и др.). Координационный орган мог бы утвердить такие профстандарты и рекомендовать вузам их использовать.

Во-вторых, важно *не принуждать, а стимулировать* учебные заведения к обновлению программ. Это можно сделать через конкурсы грантов: например, выделять финансирование вузам, которые открывают центры BIM-компетенций или совместно с бизнесом реализуют учебно-практические полигоны (как «умный кампус» для проектных команд).

В-третьих, требуется наладить постоянную связь между образованием и индустрией: проводить регулярные встречи представителей вузов и работодателей (на площадке координационного совета) для обсуждения востребованных навыков, стажировок студентов на BIM-проектах, сертификации специалистов. Координационный совет мог бы выполнять функцию аккредитации BIM-курсов – например, присваивать статус «рекомендуется BIM-сообществом» программам, соответствующим установленным критериям. Таким образом, через мягкое регулирование и поддержку будет обеспечено, что молодые специалисты выходят на рынок готовыми к работе в BIM-среде.

Также нужно проанализировать существующие программы подготовки BIM специалистов на уровне бакалавриата и определить их дальнейшее развитие. Возможно, требуется переработка данных программ, их дополнение или реорганизация поскольку в мировой практике такая подготовка обычно происходит на уровне магистратуры.

Вышеуказанные меры снизят актуальный кадровый дефицит и ускорит внедрение технологий в компаниях. В перспективе подобные меры приведут к формированию полноценной экосистемы BIM-образования: от университетов до системы переподготовки действующих инженеров. Как показывает опыт, устойчивый успех BIM во многом опирается на подготовленность кадрового потенциала – инвестиции в образование окупаются повышением качества проектов и снижением сопротивления изменениям.

3.1.5 Поэтапное введение обязательных требований к BIM

Введение обязательных требований к использованию BIM следует осуществлять поэтапно, сочетая твёрдость политики с реалистичностью исполнения. Рекомендуется разработать «дорожную карту» мандата: определить, *какие проекты и с каких сроков* должны выполняться в BIM-формате. Например, на первом этапе можно установить, что с определенной

даты все новые государственные объекты (или объекты выше заданной сметной стоимости) проектируются только с использованием BIM на базовом уровне детализации.

Далее, по мере роста компетенций, круг обязательных BIM-проектов расширяется: включаются региональные и муниципальные стройки, проекты с участием госкомпаний и т.д. Подобный фазовый подход применялся в других странах: в Германии с 2017 по 2020 год постепенно увеличивали перечень объектов, обязанных использовать BIM, во Франции план *BIM 2022* также предусматривал поэтапное повышение требований, а Великобритания сразу закрепила порог – с 2016 года все централизованные госзакупки в строительстве должны соответствовать BIM Level 2. Эти примеры подтверждают, что мандаты целесообразно внедрять последовательными шагами, давая рынку адаптационный период. Важное условие – совершенствование нормативной базы параллельно с введением мандатов.

Необходимо устранить положения, которые могут препятствовать эффективным BIM-процессам. В частности, привести в соответствие правила экспертизы и приемки работ: если сейчас экспертиза требует полный комплект чертежей, то при мандате следует официально разрешить сдачу цифровой модели вместо бумажной документации (при соблюдении установленных требований к модели). Также стоит обновить типовые контракты и положения о авторском надзоре, чтобы учесть ответственность сторон за ведение модели, права на данные и т.п.. То есть законодательные и ведомственные акты должны эволюционировать вместе с практикой, чтобы компании не оказались в ситуации, где требования закона противоречат BIM-технологиям.

Отдельно нужно продумать механизм контроля и поддержки исполнения мандата. Например, госэкспертиза и закупочные органы должны получить методики проверки BIM-моделей на соответствие стандартам. Координационный совет мог бы курировать эту работу, собирая обратную связь от экспертизы и подрядчиков о возникающих проблемах. Возможна и ответственность за невыполнение: скажем, проекты без BIM-моделей не допускаются до госзаказа, либо нарушение требований влечет штрафы/замечания. Однако акцент следует делать не на карательных мерах, а на том, чтобы помочь участникам соответствовать новым правилам – через обучение, шаблоны, техническую поддержку. В итоге, цель мандата – создать гарантированный спрос на BIM со стороны государства и тем самым подтолкнуть всю цепочку подрядчиков к освоению технологий.

Как только заказчики начнут требовать информационные модели повсеместно, многие барьеры (низкая мотивация, разрозненность стандартов) отпадут сами собой. Опыт Великобритании показал, что жесткое требование (BIM Level 2 с 2016 г.) радикально ускорило диффузию технологий: уже к 2020 году уровень использования BIM там достиг 73%. Для Казахстана введение мандата станет переломным шагом, но чтобы он принес пользу, параллельно должны действовать описанные выше меры – и стимулы, и обучение, и методическая поддержка.

Только комплексный подход обеспечит, что обязательность BIM не формально увеличит нагрузку, а фактически повысит эффективность и качество строительства. После подготовки (например, пилотного внедрения мандата на ограниченном числе проектов) и с учётом готовности рынка, к установленному году Казахстан мог бы перейти к полной обязательности BIM для всех бюджетных строек. Это закрепит цифровой формат работы как новую норму отрасли, приближая страну к передовой практике мирового уровня.

3.1.6 Внедрение практики управления существующими строительными объектами с помощью BIM.

Кроме внедрения BIM в строительстве новых объектов стоит обратить внимание на эксплуатацию уже существующих. В этом отношении государство имеет огромную заинтересованность имея под своим управлением множество зданий эксплуатация которых занимает существенную часть республиканского бюджета (около 5%). На фоне растущих тарифов за коммунальные услуги и цен на ремонт, реконструкция этих зданий и их дальнейшее управление на основе информационного моделирования могут существенно оптимизировать эти расходы. Однако эта сфера сохраняет высокую инертность и требует показательной демонстрации успешного опыта для дальнейшего развития. Такими показательными примерами могли бы стать университеты. Обладая высоким научным потенциалом и возможностью привлекать средства в виде грантов на научные инновации ВУЗы могут исследовать и реализовать актуальные для условий Казахстана механизмы информационного моделирования в условиях эксплуатации и реконструкции.

Предложенные решения взаимосвязаны и согласуются с текущими шагами государства. Они нацелены на устранение выявленных барьеров – институциональных, экономических, информационных и кадровых – без повторения уже пройденных этапов. Отдельно подчеркнем, что важно различать *уже реализуемые меры* (например, разработка стандартов, запуск ГБИМ, частичные обучения) и *новые инициативы*, предлагаемые к внедрению. Настоящие рекомендации основываются на анализе текущего опыта РК (Глава 2) и передовых практиках других стран. Их реализация – от создания единого координационного центра до финансового стимулирования, открытого обмена опытом, реформы образования и ввода мандатов – призвана придать импульс развитию BIM в Казахстане, ускорив переход отрасли на цифровые рельсы при одновременном повышении эффективности и прозрачности строительства. В качестве дополнения к данным рекомендациям была разработана концепция по корректировке усилий по внедрению BIM в Казахстане (Приложение А)

3.2. Разработка учебной программы «BIM-технологии в АСО» на основе требований профессиональных стандартов Республики Казахстан

Специалисты архитектурно-инженерно-строительного комплекса (АЕС) стремятся к максимальной автоматизации рутинных операций — прежде всего подготовки строительной документации — в едином, управляемом цифровом контуре. За последние два десятилетия такая автоматизация получила устойчивое воплощение в технологии информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM): параметрическое моделирование, работа в среде общих данных и многомерное проектирование (3D и более высокие измерения) сформировали новый стандарт проектных процессов, способствуя повышению доступности, энергоэффективности, «умности» и устойчивости зданий. Тем не менее мировой рынок сталкивается с дефицитом квалифицированных BIM-кадров: компаниям зачастую не хватает специалистов необходимого уровня, а длительность и стоимость обучения делает корпоративную подготовку затруднительной, особенно на ранних стадиях распространения технологии, когда окупаемость инвестиций в обучение воспринимается как неочевидная. Аналогичные трудности испытывают и независимые профессионалы, пытающиеся осваивать BIM самостоятельно. В этих условиях перед системой высшего образования возникает задача целенаправленной подготовки специалистов по BIM на уровне магистратуры.

Анализ доступных на момент исследования публикаций позволяет выделить три распространённых подхода к подготовке кадров для BIM в АЕС:

(1) обучение «на производстве», организуемое компаниями самостоятельно либо через внешние учебные сервисы в формате онлайн/офлайн курсов [252; 253];

(2) включение модулей по BIM в существующие бакалаврские или магистерские программы (как самостоятельные курсы или части профильных дисциплин) [253–256];

(3) создание полноценных специализированных программ, ориентированных на BIM (чаще на уровне магистратуры или PhD) [257–261].

Объём знаний, необходимый для комплексного понимания и применения BIM, быстро растёт. Поэтому, хотя в литературе описаны успешные примеры отдельных курсов и корпоративных программ, их потенциал в среднесрочной перспективе может оказаться недостаточным для устойчивого формирования требуемых компетенций.

Отсюда следует вывод: университеты занимают определяющую роль в подготовке экспертов, готовых к современным вызовам АЕС. В ряде развитых стран уже открыты специализированные магистерские программы по BIM [262; 263]. Мы полагаем, что университетам в развивающихся странах (включая Казахстан) также необходимы программы, учитывающие локальные особенности и институциональные требования и тем самым ускоряющие интеграцию BIM в национальную отрасль; подтверждение такой тенденции представлено в недавних исследованиях [264–267].

В опубликованных работах прослеживаются три методологических подхода к проектированию учебных программ по ВІМ:

(1) «от рынка» — комплексный анализ требований проектных организаций к компетенциям специалистов по ВІМ, в том числе через экспертные опросы (модель «от продукта»);

(2) «от содержания» — конструирование программы на основе совокупности актуальных технологий и практик ВІМ (международных и локальных);

(3) «от процесса» — проектно-ориентированное обучение, встроенное в реальный ВІМ-поток организации (модель «процесса»).

Первый подход требует значительных ресурсов: длительных социологических исследований и последующего формального анализа (выделение, классификация и приоритизация требований, их трансляция в учебные результаты), как показано в работах [268–270]. Поскольку технологии и практики ВІМ эволюционируют ежегодно, поддержание такой программы в актуальном состоянии становится трудозатратно. Второй подход продуктивен для универсалистских программ, нацеленных на подготовку специалистов, способных работать в разных странах, однако рискует сгладить локальные регуляторные и организационные особенности. Третий подход высоко практичен и не требует дополнительных обследований, но оправдан там, где ВІМ уже широко и регулярно применяется, обеспечивая студентам включение в реальный производственный контур.

Ни один из перечисленных подходов не соответствует в полной мере текущему состоянию внедрения ВІМ в Казахстане: отсутствует стабильное финансирование длительных исследований для проектирования новых программ; отрасль характеризуется сложным нормативным полем и консервативной рыночной средой; сам спрос на ВІМ остаётся ограниченным — обстоятельства, неоднократно отмеченные в работах по развитию ВІМ [233; 250]. Это побуждает искать альтернативное решение.

В смежной литературе по проектированию образовательных программ предложен подход, опирающийся на профессиональные стандарты [271]. Поскольку во многих странах такие стандарты формируются с использованием проверенных общественных и институциональных процедур, они аккумулируют актуальные требования рынка труда [272]. Использование профессиональных стандартов позволяет избежать затратных социологических циклов и одновременно сохраняет прочную связь с локальной практикой.

В настоящем исследовании мы проанализировали профессиональные стандарты, действующие в Республике Казахстан, и разработали методику интерпретации зафиксированных в них требований к компетенциям ВІМ для построения междисциплинарной магистерской программы. Предложенный метод сочетает многокритериальный анализ с использованием пересмотренной таксономии Блума и соотнесён с уровнями рабочих процессов АЕС. Он относительно прост в применении, пригоден для

регулярной актуализации содержания программы по мере развития ВІМ и может быть адаптирован к другим дисциплинам — как в Казахстане, так и в странах, где профессиональные стандарты служат основой для проектирования рыночно-ориентированных образовательных программ и подготовки квалифицированных специалистов.

3.2.1 Система анализа и индексации требований профессиональных стандартов

Исходной базой исследования послужили профессиональные стандарты Республики Казахстан, разработанные Национальной палатой предпринимателей «Атамекен» в 2020 году [273]. Эти стандарты сгруппированы по укрупнённым направлениям профессиональной деятельности (далее — «направления»). Так, направление «Строительство», на котором сфокусировано исследование, включает широкий спектр трудовых функций и должностей (например, работы по устройству полов и облицовке стен, земляные работы, теплоизоляционные работы и др.). Каждому направлению соответствует один профессиональный стандарт, который объединяет несколько профессий разных квалификационных уровней; содержание стандарта представлено в картах профессий с уникальными идентификационными кодами.

В качестве иллюстрации: профессиональный стандарт «Архитектура и градостроительство» включает пять карт профессий — «Техник-проектировщик зданий и сооружений», «Архитектор», «Инженер-конструктор (АЭК)», «Ландшафтный архитектор», «Главный архитектор проекта» — каждая карта имеет собственный идентификатор и набор требований к трудовым функциям и компетенциям.

В настоящем обзоре учитывались только те направления, которые задействованы в ВІМ на первом уровне зрелости [274], а именно: «Архитектура и градостроительство» и «Разработка проектов строительства».

Поскольку магистерские программы нацелены на подготовку специалистов 6–7 уровней квалификации (по Национальной рамке квалификаций РК), в анализ включены только соответствующие профессии: архитектор, инженер-конструктор, ландшафтный архитектор, специалист по автоматизированным системам, инженер-сметчик, инженер по пожарной сигнализации, инженер-строитель, старший инженер. Требования к этим профессиям в терминах профессиональных стандартов рассматриваются далее в статье.

Объединение нескольких профессиональных ролей в рамках одного учебного плана создаёт методические и организационные вызовы как для разработчиков программы, так и для обучающихся. Учитывая присоединение Казахстана к Болонскому процессу [275], программа должна быть не только содержательно выверенной, но и ориентированной на студента. Для этого необходим прозрачно трассируемый механизм увязки положений стандартов с учебными результатами и дисциплинами: абитуриенты и студенты должны чётко видеть, какие компетенции формируются в рамках каждой дисциплины

и какими профессиями они востребованы. По предложению проф. К. Алимовой был разработан справочный инструмент, который фиксирует ссылку на каждый пункт стандартов и сохраняет эту привязку на всех этапах проектирования и актуализации образовательной программы.

Для построения такого справочника проанализирована внутренняя структура «карты профессии» и введена система индексации элементов на каждом уровне (блок, тема, умение/знание и т.п.). Схема структуры карты, принципы присвоения индексов и пример их свёртки в единый справочник показаны на рис. 36.



Рисунок 36. Структура профессионального стандарта и справочного указателя

Такая система ссылок и индексации делает метод конструирования программы прозрачным и создаёт измеримые преимущества для всех участников образовательного процесса — методистов, преподавателей и студентов.

Во-первых, для методистов индексация обеспечивает управляемость изменений. По мере обновления профессиональных стандартов (а это закономерно в связи с быстрым развитием ВМ и смежных областей) можно оперативно выявлять затронутые элементы учебного плана и точно корректировать их. Трассировка «стандарт → компетенция → учебные результаты → дисциплина» позволяет безошибочно соотнести новые или изменённые пункты стандарта с конкретными модулями и оценочными средствами программы и, при необходимости, вернуть связь «обратно» — от дисциплины к первоисточнику стандарта.

Во-вторых, для преподавателей индексация проясняет целеполагание курса в профессиональной траектории студента. Доступ к соответствующим разделам стандарта показывает, какие трудовые функции и квалификационные уровни поддерживает дисциплина, какие знания/умения считаются критически важными и как их оценивать. Это снижает методическую неопределённость, повышает содержательную согласованность модулей и, как следствие, качество реализации программы.

В-третьих, для студентов система даёт проверяемую информацию о том, какие практические требования рынка лежат в основе каждой дисциплины и какие компетенции будут сформированы. Такая «прозрачная карта» облегчает осознанный выбор элективов, повышает мотивацию и

уверенность в профессиональной релевантности обучения, что в конечном итоге способствует лучшим учебным результатам и трудоустройству.

3.2.2 Выделение требований BIM и их нормализация

Следующим шагом стало извлечение всех требований с прямым упоминанием BIM из выбранных карт профессий. Такое ограничение на формулировки (наличие явного термина) связано с повышенным вниманием к корректности отнесения требований именно к BIM-компетенциям; пример формулировки приведён в табл. 1. В общей сложности идентифицировано 217 пунктов. Повторяющиеся положения были исключены, при этом исходные индексы всех мест упоминаний сохранялись в виде списка, добавленного к финальной записи требования — для полной трассируемости между программой и профессиональными стандартами (см. рис. 37).

Knowledge of the BIM regulatory and technical documents of the Republic of Kazakhstan in the development and implementation of projects using BIM. 2161-0-002 F1.T1.K8, 2161-0-002 F1.T2.K72, 2161-0-002 F1.T3.K5, 2161-0-002 F2.T1.K8, 2161-0-002 F2.T2.K5, 2161-0-002 F2.T3.K5, 2161-0-002 F3.T1.K11, 2161-0-002 F3.T2.K4, 2161-0-002 F3.T3.K2, 2161-0-002 F4.T1.K4, 2161-0-002 F4.T2.K6, 2161-0-002 F5.T1.K5, 2161-0-002 F5.T2.K5/2164-1-001 F1.T1.K9, 2164-1-001 F1.T2.K3, 2164-1-001 F3.T1.K7, 2164-1-001 F3.T2.K5, 2164-1-001 F3.T3.K3, 2164-1-001 F5.T1.K5, 2164-1-001 F5.T4.K3/2162-0-004 F2.T1.K6, 2162-0-004 F2.T2.K4, 2162-0-004 F2.T3.K3, 2162-0-004 F3.T1.K9, 2162-0-004 F3.T2.K3/2151-2-030 F1.T1.K8, 2151-2-030 F1.T2.K4, 2151-2-030 F2.T1.K4, 2151-2-030 F2.T2.K1/2149-5-003 F1.T1.K8, 2149-5-003 F2.T1.K3, 2149-5-003 F2.T3.K3, 2149-5-003 F3.T2.K3/2151-9-008 F1.T2.K4, 2151-9-008 F1.T4.K3/2144-1-003 F1.T2.K3, 2144-1-003 F1.T4.K2/1323-0-007 F1.T1.K4, 1323-0-007 F1.T2.K5, 1323-0-007 F2.T1.K3

Рисунок 37. Пример требования со списком индексов, указывающих точное местоположение каждого упоминания в стандартах.

Полученный консолидированный перечень включает 126 уникальных требований. Примечательно, что 51 из них относится к карте профессии «Архитектор» — это как минимум в три раза больше, чем у любой другой рассматриваемой профессии. В дальнейшем каждое требование отнесено либо к обязательным дисциплинам (если оно имеет ссылки на большинство профессий), либо к элективам (если охватывает одну или несколько конкретных профессиональных ролей).

Далее все требования интерпретировались как образовательные компетенции. Тот факт, что их источник — профессиональные стандарты, обеспечивает содержательную согласованность компетенций с институциональным контекстом и нормативными ожиданиями работодателей, что критично для разработки компетентностно-ориентированных программ [276; 277].

Согласно Национальной рамке квалификаций РК, профессии уровней 6 и выше предполагают наличие практического опыта и высшего образования

(уровни бакалавриата и магистратуры)[278]. Следовательно, у обучающегося теоретически есть три пути освоения каждой из 126 компетенций: в бакалавриате, на рабочем месте или в магистратуре. Поскольку бакалаврские программы в Казахстане, как правило, обеспечивают базовую подготовку и включают лишь краткие модули по ВІМ (например, «Основы ВІМ» в Satbayev University), а предлагаемая магистерская программа рассчитана также на выпускников, получивших диплом до включения ВІМ в бакалавриат, бакалаврский маршрут в данном анализе исключён. Оставшийся выбор — между освоением компетенции в магистратуре и её формированием в производственной практике — должен основываться на оценке эффективности каждого из вариантов в конкретном случае.

Академическое обучение целесообразно для длительного, системного усвоения значительных объёмов теоретических знаний и обобщаемых навыков, применимых в широком спектре профессиональных контекстов. Производственная практика оптимальна для освоения конкретных действий и методик, востребованных на текущем предприятии, не прерывая рабочий процесс; она обеспечивает насыщенную межпрофессиональную коммуникацию и доступ к реальным задачам, зачастую выходящим за рамки универсальных компетенций. Понимая, что университеты могут внедрять проектное обучение, а предприятия — собственные курсы и учебные подразделения, мы не рассматриваем эти единичные случаи как основу классификации.

Исходя из этого, сформулированы критерии отнесения требований профессиональных стандартов:

- в пользу академического освоения: потенциально большая длительность обучения, значительный объём информации, универсальность применения;

- в пользу обучения на рабочем месте: зависимость от специфики предприятия, выраженная кооперация и коммуникация, необходимость участия в реальном проектном процессе.

Для сопоставления альтернатив использован многокритериальный анализ — широко применяемый метод принятия обоснованных решений при множественности влияющих факторов [279–281]. Для каждой компетенции каждая группа критериев оценивалась по трёхбалльной шкале: –1 (слабая выраженность), 0 (средняя/нейтральная), +1 (сильная выраженность). Итоговое решение принималось по превалированию суммарных баллов: компетенция относилась либо к магистерской программе, либо к обучению на рабочем месте.

Иллюстрация подхода приведена в табл. 9 — показана оценка первых трёх требований ВІМ, выбранных из карты профессии 2161-0-002 «Архитектор».

Таблица 9. Выборка многокритериального анализа

Индекс требований	Критерии дифференциации							
	Академическая (магистратура)				Обучение на рабочем месте			
	Длительное обучение	Большой объем информации	Трансферабельные навыки	Итого	Основано на специфике предприятия	Междисциплинарные и коммуникативные	Реальный опыт, основанный на процессах	Итого
2161-0-002 T1.31.Ум2*	0	0,5	1	1,5	1	0,5	1	2,5
2161-0-002 T1.31.Ум3**	0	0,5	1	1,5	1	1	1	3
2161-0-002 T1.31.Ум6***	1	1	1	3	0	1	0,5	1,5

2161-0-002 T1.31.Ум2* * — Определение средств и методов сбора дополнительных данных, необходимых для разработки архитектурного раздела проектной документации или Проектной информационной модели (PIM/ПИМ) (при разработке проекта с применением BIM).

2161-0-002 T1.31.Ум3** — Проведение натурных изысканий для анализа особенностей строительной площадки, необходимых для разработки архитектурного раздела проектной документации или PIM/ПИМ (при разработке проекта с использованием BIM).

2161-0-002 T1.31.Ум6*** — Анализ решений по проектированию, строительству и эксплуатации однотипных объектов капитального строительства, а также анализ практик организации CDE для обеспечения документооборота между участниками формирования PIM/ПИМ (при разработке проекта с использованием BIM).

Результаты единообразной многокритериальной оценки всех 126 компетенций (см. рис. 38) позволили однозначно распределить их между двумя траекториями: академическим освоением (магистратура) и обучением на рабочем месте. Небольшая группа позиций получила паритетную оценку (равновесие критериев): для них зафиксирована двойкая применимость — как к аудиторному освоению, так и к производственной практике.

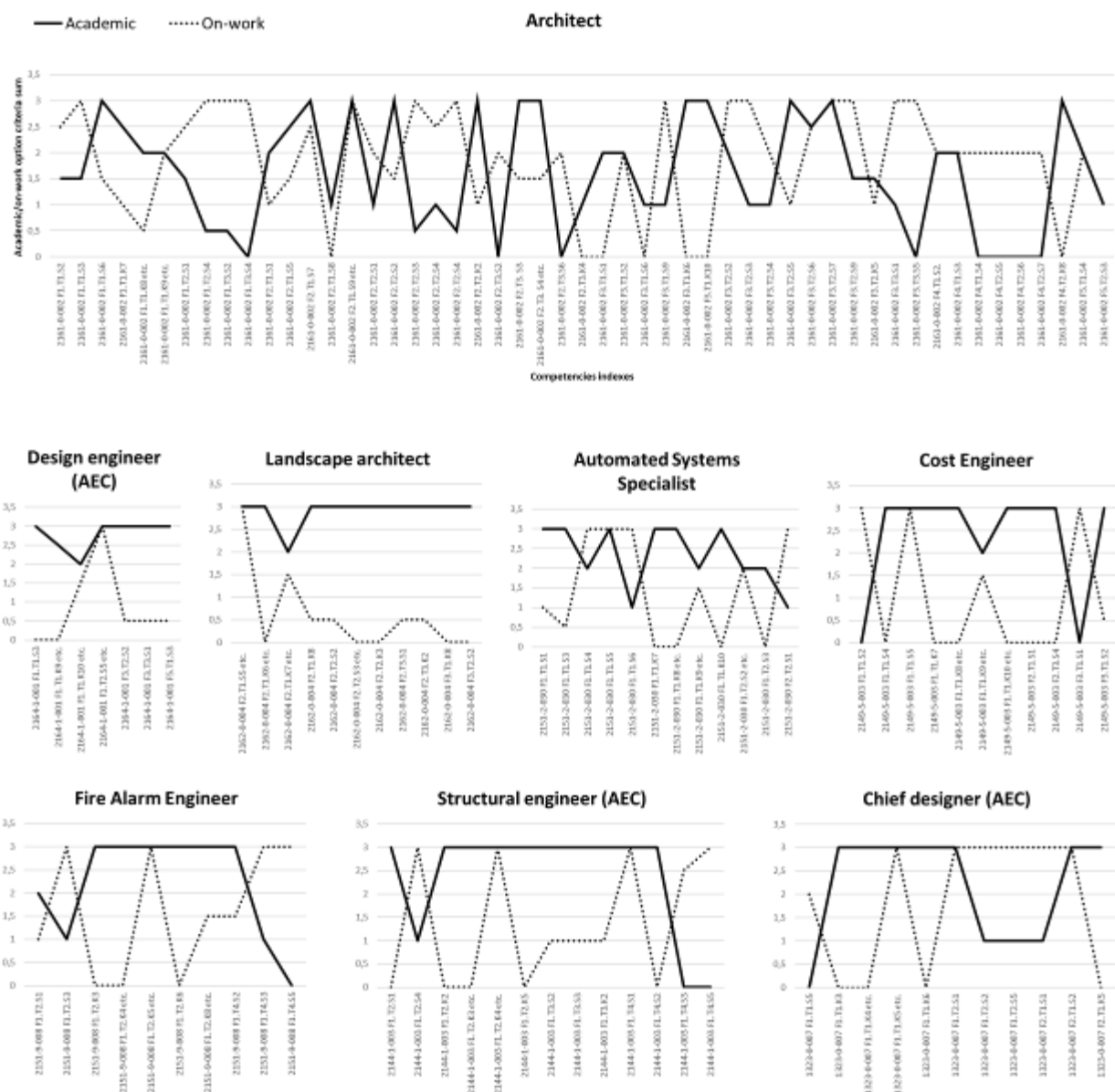


Рисунок. 38. Результаты многокритериального анализа требований к профессиям АЭК, представленных в казахстанских профессиональных стандартах. Сплошная линия – сумма академических критериев, пунктирная линия – сумма критериев производственного образования. Требования, представленные с его отдельными индексами

Итого (см. рис. 3): 68 академических и 38 рабочих компетенций; ещё 20 показали паритет. Для конструирования дисциплин использовано 88 компетенций.

3.2.3 От компетенций к дисциплинам

Следующий шаг — конструирование дисциплин на основе отобранных компонентов. Задача включает: (1) группировку компетенций в целостное содержание курсов; (2) упорядочение дисциплин для последовательного освоения материала; (3) оценку трудоёмкости каждой дисциплины в кредитах ECTS.

В качестве логической основы нарастания когнитивной сложности использована пересмотренная таксономия Блума (Anderson & Krathwohl, 2001) [282]. Для области АЕС шесть уровней таксономии интерпретированы через типичные виды профессиональной деятельности (см. рис. 39), с опорой на существующие исследования [283–285]. Полученная модель задаёт:

логические блоки для объединения компетенций в дисциплины;

последовательность обучения, отражающую переход от усвоения понятий и нормативных требований к совместной работе, моделированию, координации и управлению процессом.

При этом каждый курс может иметь собственную «когнитивную траекторию» и включать несколько уровней таксономии. Например, дисциплина из блока «стандарты и требования» объединяет теоретические положения с отработкой их применения в коллаборации и рабочем процессе.



Рис. 39. Пересмотренная таксономия Блума, интерпретированная для базовых видов деятельности в АЕС

Для валидации подхода сопоставлена структура нескольких действующих магистерских программ по BIM: BIM-DT (University of Liverpool), BIM for Design, Construction and Operation (University of the West of England) и BIM A+ European MSc. Компоненты их учебных планов были распределены по уровням когнитивного обучения в соответствии с целями модулей (см. табл. 10). Как видно из таблицы, с допустимыми оговорками содержание выбранных программ согласуется с предлагаемой нами структурой, основанной на таксономии Блума.

Таблица 10. Содержание существующих программ BIM с предлагаемыми уровнями таксономии

Уровень когнитивного обучения	Университет Западной Англии (UWE), магистратура «BIM в проектировании, строительстве и эксплуатации»	Университет Ливерпуля, магистратура «BIM и цифровая трансформация (BIM-DT)»	Европейская магистерская программа BIM A+
1. Теория, стандарты и требования	Законодательство в строительной отрасли	Теория, практика и инструменты BIMУправление информацией и совместной работой в среде BIM	—
2. Коммуникация и коллаборация	—	Внедрение BIM в совместных средахВиртуальные среды для архитектуры	Продвинутые системы данных BIM и интероперабельность
3. Разработка BIM-моделей и их компонентов	BIM на стадиях эксплуатации и обслуживания BIM в строительном производстве	Параметрическое проектирование и цифровое производство 1, 2Инновационные технологии и методы в строительстве	Моделирование в архитектуре и инженерииПараметрическое моделирование в BIM
4. Анализ проектных данных	Практика управления строительными проектами	Методология исследованияУстойчивое развитие на основе BIMМагистерская диссертация	Анализ реновации и устойчивости на основе BIM
5. Контроль процессов и результатов	Координация проектирования в BIM	Интероперабельность и координация проектирования с использованием BIM	4D/5D/6D-моделирование и приложенияМагистерская диссертация
6. Проектирование	BIM в бизнесе и практикеЗдания с низким/нулевым воздействием на окружающую среду	Магистерская диссертация: исследование через проектирование	Проектирование в BIM

В рассмотренных магистерских программах объём отдельных дисциплин колеблется от 5 ECTS (в BIM A+) до 7,5 ECTS (в британских университетах). В действующих профильных курсах Satbayev University

(Архитектурный факультет) объёмы унифицированы на уровне 6 ECTS: «Актуальные нормативные аспекты в архитектуре и градостроительстве» (уровень 1), «Профессиональное компьютерное моделирование» (уровень 3), «Предпроектный анализ» (уровень 4), «Студия архитектурного проектирования» (уровень 6). Этот 6-ECTS формат принят и как базовый для новых дисциплин.

От когнитивных групп к курсам. Компетенции, сгруппированные по уровням когнитивного обучения, распределялись по дисциплинам с учётом (i) общей трудоёмкости и (ii) профессиональных индикаторов. Компетенции, имеющие несколько профессиональных индикаторов, отнесены к обязательным и включены в ядро; компетенции с одним или несколькими узкими индикаторами стали частью элективных курсов.

Сетевая структура компетенций. Визуализация взаимосвязей между компетенциями выполнена в VOSviewer. На схеме размер узла отражает частоту/«вес» требований (нормализованных до ключевых слов), толщина рёбер — силу связи между ними. Как видно из диаграммы, архитектурные компетенции формируют центральный кластер сети. Отдельно выделяются несколько сгущений, соответствующих базовым обязательным дисциплинам: национальные и корпоративные требования, управление проектами, координация проектирования, инструментальные модули BIM, цифровая съёмка, управление средой общих данных (CDE).

В настоящем исследовании сеть (см. рис. 40) построена вручную, однако её формирование и последующую актуализацию можно автоматизировать методами обработки естественного языка, что позволит синхронизировать профессиональные стандарты и содержание образовательных программ в оперативном режиме [286; 287].

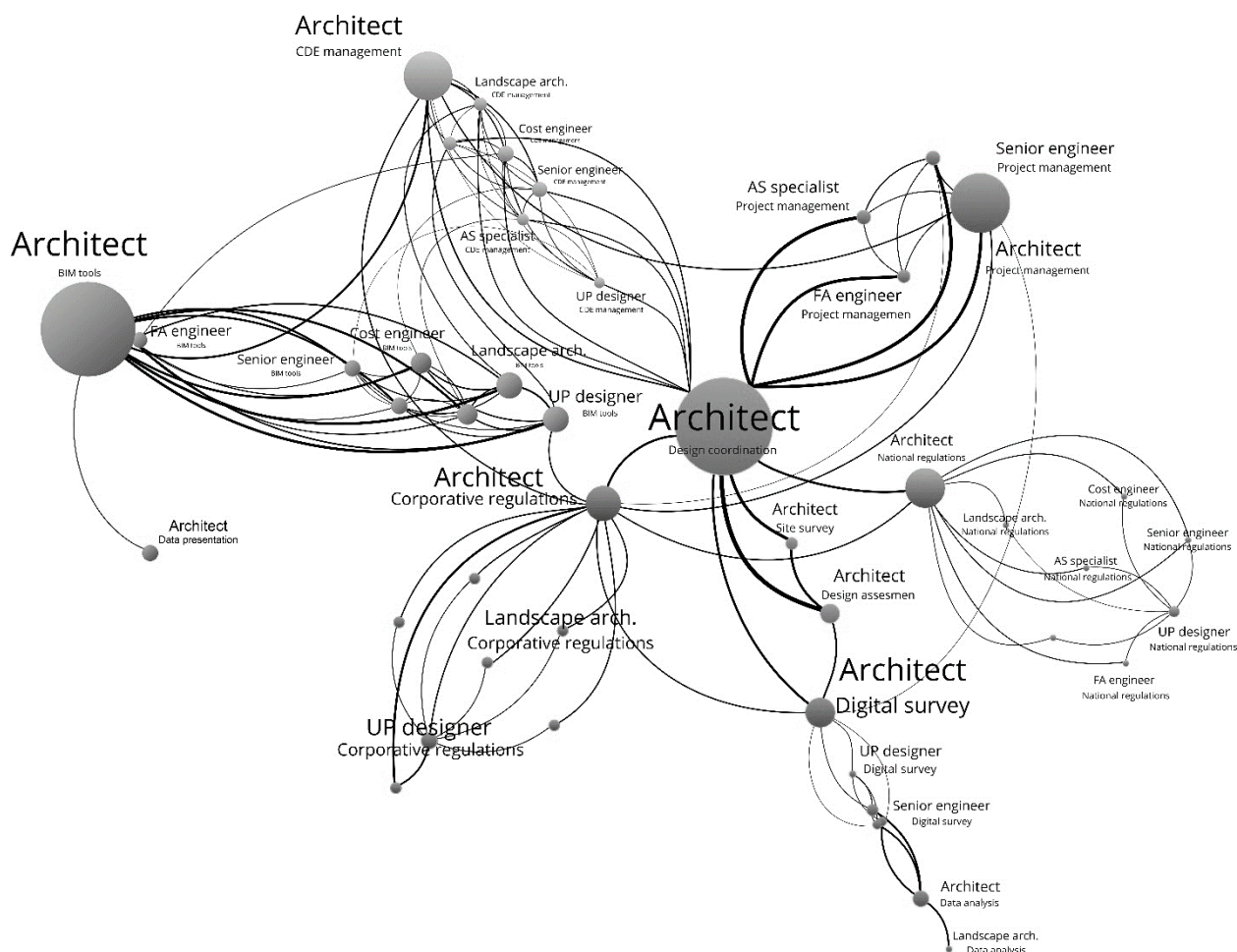


Рисунок 40. Сеть компетенций АЕС BIM из казахстанских профессиональных стандартов

В результате сформирован перечень дисциплин, призванных обеспечить полный набор компетенций для применения BIM в проектно-строительной сфере Казахстана. Состав перечня напрямую отражает актуальные запросы проектных организаций, зафиксированные в профессиональных стандартах. Для каждой дисциплины подготовлено описание с укороченным списком требований из стандартов и индексами, что обеспечивает трассируемость содержания курса к соответствующим нормативным позициям (Приложение Б).

Полученный список может быть напрямую использован вузами для проектирования междисциплинарной магистерской программы подготовки специалистов по BIM, либо для встраивания отдельных дисциплин в действующие образовательные программы с целью целенаправленного формирования недостающих BIM-компетенций.

3.2.4 Дизайн учебного плана

Опираясь на структурированный и обоснованный перечень дисциплин, мы сформировали учебный план программы. Важно отметить, что каждая магистерская программа, предлагаемая вузами Казахстана, должна

соответствовать стандартам образовательных программ, задающим требования к длительности обучения, объёму академической нагрузки, перечню обязательных компонентов и др. Satbayev University использует собственные шаблоны, согласованные с национальными и внутривузовскими регламентами. В качестве рамки выбран полугодовой формат профессионально-ориентированной магистратуры.

Шаблон предусматривает не менее 92 ECTS (из них 64 ECTS — аудиторная нагрузка). Структура включает:

- две обязательные базовые дисциплины: иностранный язык (5 ECTS) и управление проектами (3 ECTS);
- две обязательные профильные дисциплины кафедры (совокупно 8 ECTS);
- экспериментально-исследовательскую работу магистранта (18 ECTS);
- производственную практику (10 ECTS);
- подготовку и защиту магистерской диссертации (12 ECTS).

Оставшиеся шесть модулей (36 ECTS) образуют ядро по BIM, ориентированное на формирование профессиональных компетенций магистрантов. Поскольку на предыдущем этапе был получен перечень из шести модульных блоков, он органично вошёл в выбранный шаблон и принят за базовую структуру итоговой программы. Её содержание представлено в (Приложение ...).

3.2.5 Отзывы казахстанских компаний АЭК

Для экспертной оценки учебного плана материалы были направлены организациям, применяющим BIM на момент исследования: «КАЗГОР», «КазНИИСА», BI Group, «Базис-А», INK-Architects. Получены три официальных письма с рекомендациями и поддержкой, а также проведена предметная дискуссия с представителями KAZGOR.

КазНИИСА, как национальный институт, курирующий разработку нормативной базы по BIM, в целом поддержал программу, отметив её своевременность. В числе рекомендаций — использовать в национальных документах термин ТИМСО (технология информационного моделирования строительных объектов) в качестве эквивалента международной аббревиатуры BIM (Приложение ...).

KAZGOR поддержал программу как первую в Казахстане, прямо ориентированную на BIM, и подчеркнул высокий рыночный спрос, обусловленный дефицитом соответствующих кадров. В части содержания рекомендовано усилить компонент, связанный со стадией эксплуатации (AIM/ОиМ), а также рассмотреть новые технологии (дополненная реальность, 3D-сканирование) в качестве элективов. Отдельно обсуждалась возможность ввести вводную дисциплину «Основы BIM» для абитуриентов без предварительной подготовки. В отличие от КазНИИСА, KAZGOR предложил сохранить в наименованиях программы международно

узнаваемую аббревиатуру BIM, считая её более привлекательной (Приложение ...).

Прочие компании предоставили положительные отзывы и выразили поддержку разработке программы (Приложение ...).

3.2.6 Результаты разработки образовательной программы на основе профессиональных стандартов

Результат данного раздела исследования — метод преобразования требований профессиональных стандартов АЕС в магистерский учебный план по BIM, подробно описанный в разделе «Методология» (см. рис. 41). Насколько нам известно, это первая попытка использовать профессиональные стандарты в качестве прямой основы для проектирования образовательной программы по BIM.

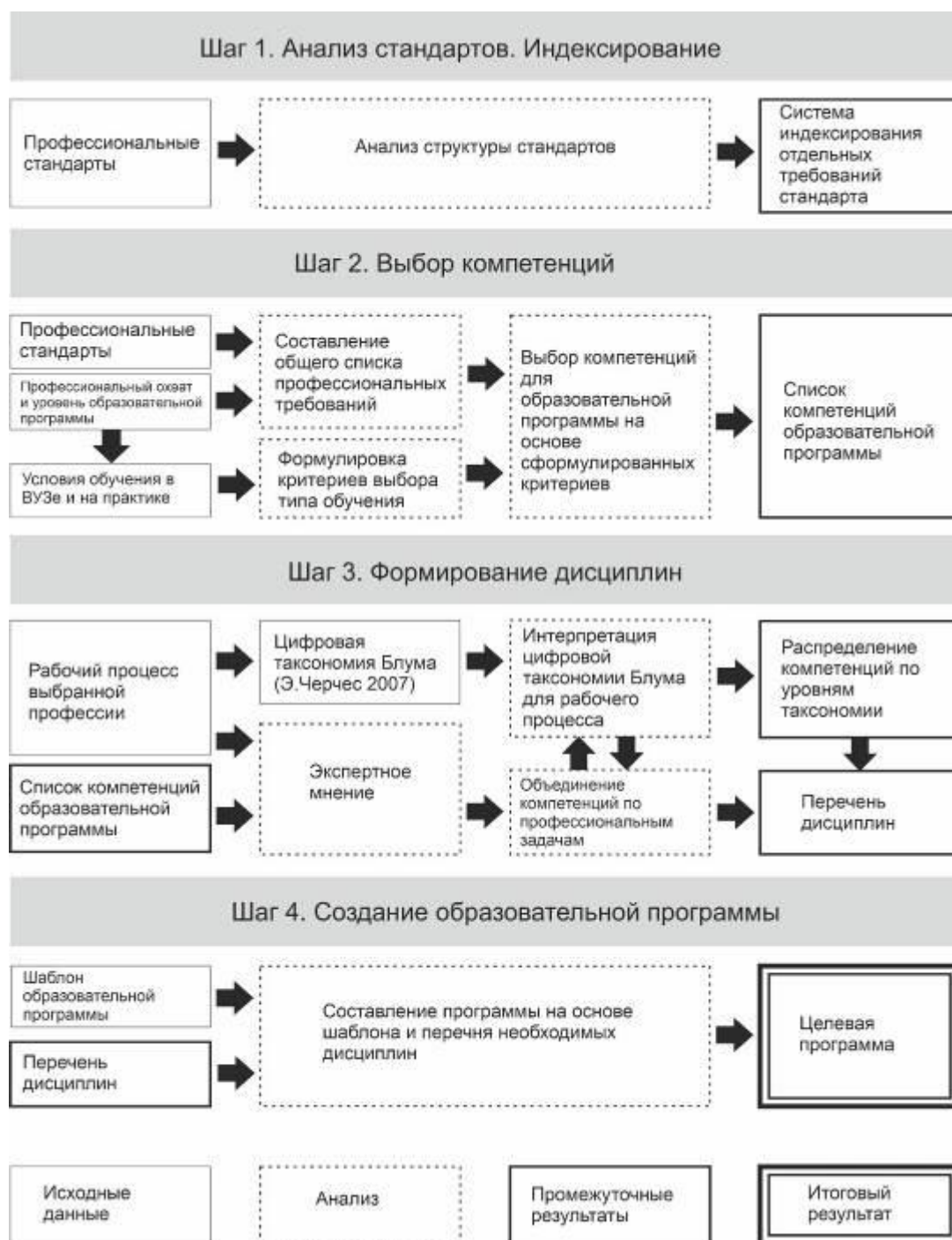


Рисунок 41. Схема четырехэтапного метода преобразования профессиональных стандартов в требования АЕС в учебную программу уровня магистра – ВМ в АЕС

Наиболее значимый эффект метода — синергия усилий государства (нормативы), практики (запросы отрасли) и образования (учебные результаты):

- студенты и преподаватели получают объективно верифицируемое содержание;
- организации АЭК — выпускников, подготовленных в соответствии с задекларированными в стандартах требованиями;

- компании, вовлечённые в разработку стандартов, ощущают ответственность за их актуальность и применение.

Такое взаимодействие, по нашему мнению, способно ускорять развитие BIM-практик.

Дополнительным преимуществом является отказ от длительных и разрозненных исследований актуальности требований: предложенный алгоритм включает ограниченное число логически прозрачных шагов, реализуемых в разумные сроки и без громоздкого аппаратного анализа. Наличие формализованной методики критично и для регулярного обновления программы.

Первоначально метод был применён для разработки магистерской программы по BIM. Впоследствии он использован при проектировании практико-ориентированных магистратур по архитектуре и градостроительству, гражданскому строительству, инженерным системам и сетям. В этих случаях, ввиду опоры на тот же профессиональный стандарт, был опущен первый шаг методики. Отметим, что даже столь «лёгкий» алгоритм потребовал методической адаптации: низкая межкафедральная координация и дефицит кадров показали, что более сложные методики могут оказаться трудноприменимыми в массовой практике.

Ключевым ограничением остаётся качество профессиональных стандартов. В ходе работы выявлена неполнота требований по ряду критических ролей (например, специалисты по инженерным системам и сетям). С другой стороны, использование стандартов как зеркала образовательных потребностей позволяет диагностировать пробелы и инициировать их устранение — через обновление стандартов и, вслед за ними, учебных программ.

Ещё одна проблема — дефицит специалистов и слабая коммуникация между кафедрами. Изначально ядро программы по BIM в АЭК задумывалось для широкой аудитории (от архитекторов до ИТ-специалистов), с высокой долей междисциплинарного взаимодействия. Однако на первом этапе внедрения принято решение ограничиться архитекторами и инженерами-строителями из-за организационных факторов и неполной нормативной «фактуры». В частности, отсутствуют преподаватели по направлениям пожарной сигнализации и ИТ-инжиниринга требуемой квалификации. Осознание этих ограничений — первый шаг к их преодолению; ожидается поэтапное расширение охвата по мере формирования кадров и обновления стандартов.

Второй ключевой результат — сама образовательная программа «BIM-технологии в АЭК» для Satbayev University (Приложение Б). Программа ориентирована на архитекторов и инженеров, а также на выпускников бакалавриата, планирующих работать в BIM-проектах. Её профессиональное ядро составляет 36 ECTS, что согласуется с требуемыми национальными и вузовскими стандартами по развитию аналитических (30 ECTS) и управленческих навыков (18 ECTS). Для укрепления общепрофессиональных компетенций в базовый компонент включены две дисциплины по выбору (12

ECTS), позволяющие гибко адаптировать траектории под специфику профессиональной области.

Вторичные результаты исследования.

- разработана система индексации, обеспечивающая прозрачную, ориентированную на студента трассировку связи учебной программы с профессиональными стандартами; текущие индексы применимы в Казахстане, при этом принцип универсален и может быть адаптирован к другим национальным ресурсам;
- предложена интерпретация уровней когнитивного обучения АЕС, помогающая выстраивать логическую последовательность дисциплин и модулей;
- сформирован перечень дисциплин, необходимых для достижения требуемого уровня ВІМ-компетенций для квалификационных уровней 6–7; помимо разработанной магистерской программы, этот перечень может быть интегрирован в существующие курсы университетов Казахстана либо использоваться при проектировании отдельных программ дополнительного/корпоративного обучения.

Развитие технологии ВІМ открывает значимые возможности для роста эффективности АЕС-индустрии. Критическим условием успешного внедрения выступает эффективная система подготовки кадров, способная формировать специалистов, соответствующих динамично меняющимся запросам отрасли. Такая система должна опираться на сотрудничество компаний АЕС, государственных органов и университетов, совместно определяющих правила, требования и рамки подготовки. Важным инструментом такой координации являются профессиональные стандарты.

В статье предложен практичный и воспроизводимый метод, применимый к созданию и обновлению учебной программы по ВІМ в Казахстане и в иных странах, где действуют профессиональные стандарты. По сути, это один из первых шагов отечественной высшей школы по связыванию результатов государственной нормотворческой работы (формализация отраслевых требований в стандартах) с развитием образовательного процесса.

Итоговая программа по ВІМ покрывает все ключевые институциональные компетенции, побуждая университеты оперативно внедрять обучение новым востребованным навыкам, выявлять появляющиеся профессиональные роли и усиливать межкафедральное взаимодействие. Ожидается, что запуск программы в ближайшей перспективе будет способствовать повышению результативности АЕС-сектора Республики Казахстан.

Предложенная методика масштабируема и для других профессиональных областей, особенно быстро развивающихся (биотехнологии, ИТ, робототехника и др.). С учётом последних достижений в области обработки естественного языка возможно автоматизировать анализ стандартов и сопутствующих документов. Одним из направлений такой автоматизации является интеграция данных требований непосредственно в

инструменты BIM, а также использование НЛП для выполнения описанной методики и синхронизации учебных программ со стандартами в режиме близком к реальному времени.

Надеемся, что представленные результаты помогут методистам вузов выбирать оптимальные решения для разработки и совершенствования программ по BIM и другим инновационным технологиям. Последовательное развитие образовательных программ, в свою очередь, будет ускорять прогресс технологий и смежных областей человеческой деятельности.

3.3 Smart Campus как ядро проектно-ориентированного обучения BIM в секторе AECO: на примере Satbayev University (Казахстан)

В начале XXI века человечество сталкивается с взаимосвязанными вызовами: дефицитом природных ресурсов, политическими и информационными конфликтами, пандемиями и ростом населения. Параллельно стремительно развиваются цифровые технологии, формируя предпосылки для качественных изменений в экономике и управлении. Для сектора архитектуры, инженерии, строительства и эксплуатации объектов (AECO) одним из ключевых драйверов трансформации стало информационное моделирование зданий/сооружений (BIM). Эта методология снижает ресурсоёмкость на стадиях жизненного цикла объекта, обеспечивает проектирование и координацию в единой коллаборативной цифровой среде, помогает преодолевать междисциплинарные барьеры и оптимизировать процессы, а также интегрирует передовые ИТ-решения в повседневную практику.

Последовательное внедрение BIM сегодня рассматривается как стратегическая цель отрасли во многих странах и поддерживается государственными структурами, научным сообществом и профессиональной средой. Решающее значение при этом имеет образование: именно оно формирует кадровую основу и «критическую массу» компетенций, без которых устойчивое распространение методологии невозможно. Поскольку BIM — это не отдельный инструмент, а комплексный подход, его массовое присутствие в образовательных процессах становится условием изменения инерционных практик и роста эффективности.

Современные публикации фиксируют широкий спектр способов интеграции BIM в высшее образование: от специализированных магистерских программ до самостоятельных курсов, включения элементов методологии в проектные студии и проведения разовых образовательных мероприятий (лекций, конференций, летних школ). Практика показывает, что наилучший эффект для AECO демонстрирует именно проектное обучение, поскольку оно органично воспроизводит междисциплинарную координацию и итеративный цикл «замысел — проверка — корректировка», лежащие в основе BIM. Ключевой дидактической задачей при таком подходе становится выбор темы проекта, которая одновременно отвечает современным

стандартам дизайн-образования и раскрывает сущность BIM как методологии.

В качестве организующей рамки предлагается концепция Smart Campus. Исследования показывают, что «умный кампус» может опираться на BIM-базовую инфраструктуру данных и служить платформой для развития цифровых двойников объектов и систем кампуса. В ряде работ студенты привлекались к комплексным заданиям, однако Smart Campus редко рассматривался как центральная дидактическая идея, структурирующая именно процесс обучения BIM.

Настоящий раздел обобщает опыт курса BIM в Satbayev University (2021), где проектно-ориентированное обучение объединено с концепцией Smart Campus как глобальной образовательной цельной рамкой. Рассматриваются план Satbayev University Smart Campus, содержание действующего курса, направления его дальнейшего развития и специфика проектного обучения в связке с BIM.

Дополнительная цель заключалась в преодолении барьеров, из-за которых у студентов формируется восприятие BIM как «чрезмерно сложной» и ограничивающей творчество технологии. В ходе курса системно фиксировались типовые затруднения и ошибки; их анализ использовался для корректировки методики, чтобы сделать принципы BIM прозрачными и воспроизводимыми, снизить порог входа и стимулировать применение методологии в проектах различного масштаба и назначения.

Для определения содержания были изучены наиболее полно описанные курсы BIM. Сопоставление показало, что наряду с традиционными форматами [264] (Lee, Kim & Yonghan, 2018) и проблемно-ориентированным обучением [253] (Rahman, Ayer & London, 2019) широкое распространение и высокую результативность демонстрируют курсы проектно-ориентированного обучения — Project-Based Education [254; 258; 259]. Для изучения BIM такой вариант выглядит наиболее эффективно, поскольку именно PBE естественным образом стимулирует мультидисциплинарную координацию и формирует переход к последующим стадиям внедрения [288].

3.3.1 Методика подготовки к курсу

Курс «Основы BIM-технологий» в Satbayev University стартовал в 2017 году как ответ архитектурно-строительного факультета на нарастающее внедрение BIM в Казахстане и связанные с этим возможности для сегмента АЕСО. Содержание изначально ориентировалось на освоение принципов методологии и базовых навыков работы с программными средствами, достаточных для включения студентов в реальные BIM-процессы в проектных организациях страны либо для дальнейшей специализации в отдельных направлениях. В течение первых трёх лет курс читался в формате самостоятельной дисциплины с теоретическими лекциями и абстрактными практическими заданиями. В качестве базовой платформы использовался Autodesk Revit, что было обусловлено его широким распространением в

Казахстане (Татыгулов и др., 2020), значимой долей использования на международном рынке и доступностью образовательных лицензий для вузов.

Пандемия COVID-19 в 2020 году потребовала переформатирования курса в онлайн-траекторию: сначала через Google Classroom, затем на платформе Microsoft Teams. Команда кафедры «Архитектура» подготовила видеолекции, пересобрала структуру занятий и обновила стратегии оценивания, чтобы оптимизировать учебный процесс. В качестве референса по организации материалов использовался курс «Информационное моделирование зданий» от BIM Academy на платформе Stepik [289]. Доступность контента дала двоякий эффект: мотивированные студенты получили возможность многократного просмотра и лучшей фиксации знаний, тогда как часть обучающихся откладывала изучение на поздние сроки, что снижало качество усвоения. Вне постоянного присутствия преподавателя разрыв между высоко мотивированными и немотивированными группами стал более заметным. Проблематика мотивации для онлайн- и традиционных форм неоднократно обсуждается в литературе; показано, что эффективность курса растёт при внедрении соответствующих педагогических стратегий — от элементов геймификации и социального взаимодействия до проектного обучения [290–293]. Для сферы АЕСО наиболее перспективным представляется именно проектный формат, поэтому следующая итерация курса была переосмыслена с учётом РВЕ.

Чтобы получить корректную базу для сравнения итоговых результатов, компонент РВЕ был сделан опциональным: студент мог выбрать проектно-ориентированную траекторию либо выполнить «традиционную» курсовую работу. В стандартном варианте задание заключалось в создании информационной модели здания (например, индивидуального жилого дома) по 2D-чертежам, как правило, взятым из открытых источников или из прежних студийных проектов. Гипотеза состояла в следующем: если при работе над реалистичным проектом возникнет существенно больше трудностей, чем при выполнении абстрактного задания, это станет индикатором того, что РВЕ предъявляет более высокий, но одновременно более содержательный вызов и формирует более глубокие знания и навыки.

Осенний цикл 2021 года был структурирован вокруг трёх взаимосвязанных блоков. Первый фокусировался на теории BIM и методологических основаниях. Второй обеспечивал отработку практических навыков в выбранной программной среде. Третий подразумевал итоговую работу, где студент делал выбор между проектно-ориентированным форматом и классической курсовой. Теоретический и практический контент шли параллельно согласно плану, сводный график которого представлен в Таблице 11.

Таблица 11: Содержание курса «Основы технологии BIM».

№	Теоретическая тема	Практическая тема
1	Общее представление о BIM	Семейства: параметры и информация

2	История развития BIM	Базовые категории семейств: окна, двери, интерьерное оборудование
3	CDE (Common Data Environment) — единая среда общих данных	CDE — базовые операции
4	Преимущества и ограничения BIM	Основные инструменты моделирования: стены, кровля и перекрытия
5	Современное состояние BIM (state of the art)	Основные инструменты моделирования: конструктивный каркас
6	Кейс-стади по BIM	Основные инструменты моделирования: витражные системы и ограждения/перила
7	Программные решения BIM	Основные инструменты моделирования: помещения, пространства, площади
8	Государственные стандарты BIM	Основные инструменты моделирования: лестницы и пандусы
9	Корпоративные стандарты BIM и основные документы	Основные инструменты моделирования: топография и элементы благоустройства
10	Процесс внедрения BIM	Основные инструменты моделирования: 2D-инструменты
11	Управление в среде BIM	Ведомости и спецификации
12	BIM и Индустрия 4.0: перспективы развития	Графическая подача и шаблоны
13	Концепция Smart Campus	Оформление листов, импорт и экспорт
14	Проект Smart Campus Satbayev University и BIM	Адаптивные семейства; введение в генеративный дизайн
15	Курсовая работа	Итоговая работа

Курс реализовывался преимущественно в офлайн-формате, однако инструменты и приёмы, опробованные в период изоляции, оказались эффективными и при очном обучении. Платформа Microsoft Teams использовалась как единое окно взаимодействия: здесь хранились учебные материалы (книги, статьи, ссылки, видеолекции), загружались и возвращались задания с оценками и комментариями, проводились дополнительные консультации — особенно на завершающем этапе, — а также поддерживалась базовая версия CDE (Common Data Environment, единая среда общих данных) с ключевыми материалами проектов.

Первоначально предполагалось развернуть CDE на базе OneDrive с синхронизацией файлов между участниками. Этот подход был принят в теоретическом блоке и частично отработан на практике. Однако опыт ведения общего файлового хранилища с типовыми шаблонными моделями показал, что для студентов такая среда оказывается чрезмерно сложной и нестабильной: она критично зависит от конфигурации программно-аппаратных средств, качества интернет-соединения и дисциплины пользователей. В то время как преподаватели продолжали рекомендовать работу в единой среде с автоматической интеграцией разделов модели, студенты в итоге выбрали ручную интеграцию как более медленную, но предсказуемую и управляемую. Показательно, что опрос казахстанских компаний, использующих BIM, проведённый на этапе подготовки курса, выявил сходную картину: многие организации избегают облачных CDE-

решений и предпочитают локальные сетевые хранилища, аргументируя это надёжностью и контролем. Такой результат отражает общую осторожность в отношении онлайн-CDE, вероятно, обусловленную отсутствием устойчивой практики их применения.

Как отмечалось выше, учащиеся могли выбрать либо участие в проектно-ориентированном компоненте (Project-Based Education, PBE), либо традиционную курсовую траекторию. Из 18 слушателей 12 человек ($\approx 67\%$) присоединились к PBE. Изначально доля желающих была ниже, поэтому преподаватели дополнительно разъясняли преимущества PBE и потенциальное влияние Smart Campus на последующий образовательный опыт. При этом состав групп в обеих траекториях — по соотношению сильных и менее подготовленных студентов — оставался сопоставимым, что позволило корректно сравнить финальные результаты. Для координации моделирования был разработан BEP (BIM Execution Plan) на основе шаблона Autodesk: в документе зафиксированы роли участников, календарный план и регламент взаимодействия, а также целевые уровни детализации и информации (LOD/LOI), что обеспечило единые ожидания к результату.

3.3.2 Умный кампус Satbayev University как задача для PBE

Определяющим дидактическим решением в рамках PBE стало определение цели проекта. В качестве организующей рамки был выбран опыт Smart Campus Университета Брешии [294], который использовался как стратегия для структурирования итогового проекта и, по сути, стал ядром курса. Концепция «умного кампуса» обсуждается с конца 1990-х (Kaneko, Sugino & Suzuki, 2000) и с начала XXI века прочно входит в образовательную повестку. Первоначально она фокусировалась на ИТ-инструментах, поддерживающих новые форматы обучения (включая дистанционные), но далее органично интегрировалась с идеями «умного дома», «умного города» и устойчивого развития, расширив связи с материально-пространственной средой университета [295–297].

Команда Университета Брешии одной из первых в Италии продемонстрировала потенциал BIM для реализации Smart Campus [294]. Здание рассматривается как среда, объединяющая образовательные, управленческие, исследовательские и эксплуатационные процессы, а информационная модель аккумулирует данные по каждому из этих контуров. Модель обеспечивает наглядную «рамку» для информации, делает её структурированной, коммуникативной и доступной для обмена между участниками.

В Казахстане проекты Smart Campus уже разворачиваются в ряде университетов [298], преимущественно с точки зрения информационной среды. Как ведущий технический университет страны, Satbayev University обладает предпосылками для более комплексного подхода, где Smart Campus опирается на BIM как на базовую инфраструктуру данных. В этом контексте выбор «умного кампуса» в качестве целевой рамки PBE оказывается

методически оправданным: BIM предоставляет средства управления и визуализации объектов, процессов и данных; сама программа Smart Campus обладает практически неограниченным потенциалом развития, а значит — задаёт широкое поле тем для проектов; акцент на этапах эксплуатации и обслуживания повышает видимость ценности BIM на поздних стадиях жизненного цикла; наконец, ориентация на передовые технологии дисциплинирует интеграцию междисциплинарных усилий и формирует культуру совместной работы (Рис.42).

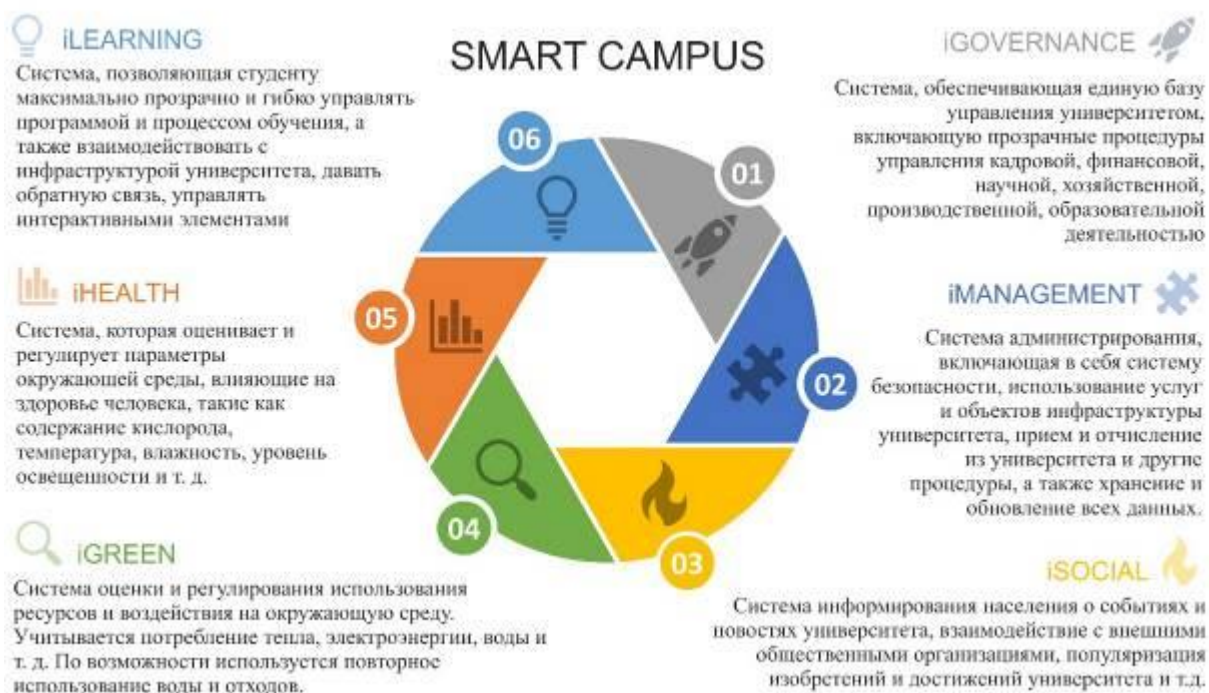


Рисунок 42: Цели Smart Campus Satbayev University

Концептуальная рамка развития Smart Campus в Satbayev University была представлена администрации и управленческой команде университета и, по итогам рассмотрения, утверждена; принятые решения оформлены в виде дорожной карты, представленной на рис. 43. Дорожная карта фиксирует стратегические цели, последовательность этапов и сроки, распределение ответственности и механизмы интеграции BIM как базовой инфраструктуры данных; её положения использовались как методическая основа курса и для формулирования заданий в формате PBE.

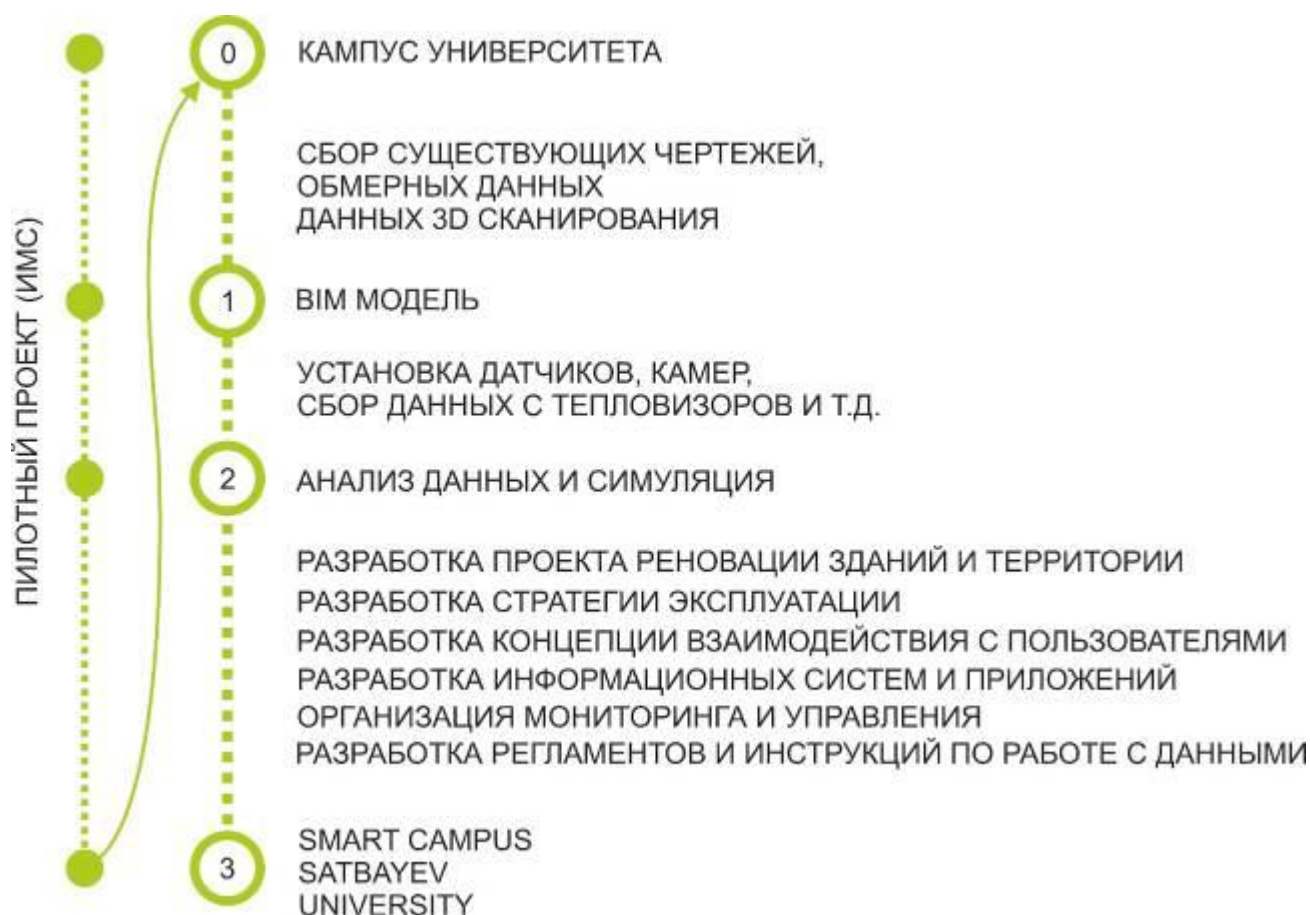


Рисунок 43: Основные этапы развития Smart Campus Satbayev University

Базовым объектом пилотного этапа было выбрано здание архитектурного факультета. На этой основе утверждён план дальнейшего развития: сформировать информационную модель, проанализировать текущие характеристики и фактические сценарии использования, рассчитать потенциальные эффекты реконструкции с опорой на принципы устойчивости и «умные» технологии, подготовить ВІМ-проект реконструкции, оценить экологические и экономические выгоды предлагаемого решения, провести обновление с внедрением смарт-технологий, зафиксировать последствия модернизации и, после валидации результатов, распространить стратегию на весь кампус.

Первая стадия — создание архитектурной ВІМ-модели — стала ядром проектного задания в РВЕ-траектории. Изначально предполагалось междисциплинарное сотрудничество групп архитекторов, инженеров-строителей и инженеров по инженерным системам (MEP) для сборки комплексной модели. Практическое ограничение учебного расписания — осеннее прохождение курса архитекторами и весеннее их коллегами из строительных и инженерных направлений — потребовало поэтапного подхода: осенью 2021 года была разработана архитектурная модель, а во втором семестре планировалось присоединить конструктив и инженерные сети. В перспективе учебного плана целесообразно синхронизировать дисциплины для одновременной командной работы.

Корректность выбора задачи проверялась через рамку Gold Standard Project-Based Learning [299]. Цели обучения соотнесены с подготовкой компетенций индустрии 4.0 в контуре АЕСО; содержанием обучения выступают BIM технологии, а среди «skills for success» приоритет отдан сотрудничеству и цифровой грамотности. Постановка проекта формулируется через сложную и актуальную проблематику Smart Campus — от управления данными и энергопотреблением до обеспечения мультикомфортной среды. Исследовательская составляющая поддерживает непрерывный поиск: при наличии стартового «пула» материалов студентам требовалось самостоятельно дорабатывать недостающие размеры и узлы, организовывать общее хранилище, переводить цели проекта на язык перечня элементов и данных, а также обеспечивать интеграцию модели. Аутентичность обеспечивается прямой связью результата с университетской средой: моделирование учебного корпуса и развитие других компонентов Smart Campus создают осязаемый эффект для повседневной жизни.

Выбор студентов реализован через опциональность РВЕ, вариативность итоговой практической работы и возможность распределять роли, инструменты и методы внутри команды. Рефлексия происходила как в ходе курса — при переносе теории и инструментальных навыков на задачи Smart Campus, — так и в горизонте дальнейшего развития проекта, когда созданные артефакты получают продолжение. Механизмы критики и доработки включали само- и взаимопроверку при сведении частей модели, регулярные консультации с преподавателями и итоговую доводку с соотнесением результата с исходными целями. Общественный продукт адресован администрации университета, что задало высокий стандарт качества и повысило ответственность команды. В совокупности подход соответствует критериям «золотого стандарта» и методически обоснует применение РВЕ в BIM-образовании.

3.3.3 Результаты учебного информационного моделирования в рамках создания *Smart Campus Satbayev University*

Студенты прошли весь теоретико-практический цикл. По итогам анкетирования (шкала от 0 до 10) зафиксированы следующие средние значения: общее качество — 9,25; сложность — 6,17; актуальность — 8,83. Итоговая оценка составила 62/100. Наиболее трудным модулем была признана CDE, наименее трудным — графическое представление и работа с шаблонами.

Команда РВЕ создала информационную модель здания университета (рис. 44), включающую конструктивные элементы и ограждения, кровлю, оконно-дверные блоки, лестницы, отделочные слои, базовую мебель и прилегающий ландшафт. На уровне помещений сформирована основная номенклатура с назначениями и ключевыми характеристиками отделки; объём атрибутов оставлен расширяемым для следующего этапа. Модель подготовлена к интеграции данных эксплуатации и обслуживания. В

настоящее время часть студентов старших курсов продолжает развитие проекта, подключая инженерные сети и конструктив как компонент выпускной работы.

По сравнению с традиционной траекторией команда РВЕ столкнулась с более сложными процессами. Основные проблемы:

1. несовпадение уровней при формировании разделов модели;
2. разъединение элементов и разрывы связности;
3. ошибки позиционирования (например, колонн, окон, дверей);
4. трудности построения 3D-топографии на основе 2D-подоснов;
5. неодинаковое использование типов элементов;
6. расхождения в материалах и параметрах между различными частями модели.



Рисунок 44. Модель здания кампуса Satbayev University, созданная в рамках курса.

Большинство ошибок, отмеченных в пунктах 1–3, возникло из-за ручного сведения (федерации) общей модели. Практический опыт таких сбоев при ручном объединении и последующей корректировке оказался убедительнее любых теоретических разъяснений корректного процесса.

Нарушения, соответствующие пунктам 5 и 6, указывают на отсутствие заранее разработанных стандартов и регламентов, которые в BIM имеют принципиальное значение. Первоначальная небрежность показала, что студенты недооценили подготовительный этап — вопреки тому, что его

важность подробно обсуждалась на лекциях. Проблемы с формированием 3D-топографии (п. 4) были обусловлены трудностями интерпретации 2D-топографических чертежей и выявили необходимость более глубокого анализа контекста участка. Рефлексия по итогам курса и целенаправленная доработка помогли выявить и закрыть пробелы в знаниях и навыках BIM; соответствующие ошибки в модели также были исправлены.

При этом у студентов, выполнявших традиционную итоговую работу, перечисленные проблемы не проявились, что демонстрирует низкую диагностическую ценность «классических» заданий для оценки понимания методологии BIM и устранения критически важных дефицитов подготовки. Полученный опыт подтверждает, что формат PBE способствует осмысленному усвоению принципов BIM и согласуется с целями Smart Campus в контексте BIM-образования. В предыдущих разделах были обозначены преимущества выбора SC как предметной области для PBE; вместе с тем результаты курса показывают, что мы находимся у начала длинного процесса: значительная часть перспектив — а вместе с ними и вызовов — ещё не охвачена. Мы рассчитываем на преемственность усилий и на их вклад в дальнейшее развитие BIM-образования в Казахстане, а также надеемся на присоединение коллег и преподавателей к этой работе.

Следует учитывать, что комплексный подход к SC способен дать измеримые позитивные изменения в образовательном опыте, тогда как работа с изолированными сегментами не всегда приводит к очевидным эффектам и может снижать «аутентичность» PBE. Для компенсации этого ограничения в курс были добавлены лекции, посвящённые SC и его реализации; в них представлен план внедрения и подчёркнута роль студентов в процессе.

Одновременно проявились существенные методические трудности. Во-первых, длительные горизонты реализации SC при ставке на студенческие команды: преподавателям приходится каждый семестр обучать новую группу, поэтому цели должны быть соразмерны одному академическому периоду. Самые сложные компоненты логично передать исследовательской группе, формируемой в Satbayev University. Во-вторых, разнообразие задач в дорожной карте SC требует разнородных компетенций на разных этапах, что затрудняет унификацию курса и получение одинаково высоких результатов при каждом запуске. С другой стороны, это стимулирует гибкость как студентов, так и преподавателей; междисциплинарное взаимодействие в такой конфигурации становится значимым фактором будущего профессионального успеха.

Наконец, курс высветил ряд препятствий для распространения BIM в Казахстане. Совместная работа в онлайн-CDE остаётся затруднённой — это подтверждается как студентами, так и практиками (по крайней мере, в условиях развивающихся экономик). Поскольку CDE является базовым компонентом BIM, именно он нередко превращается в «узкое место» при внедрении. Спрос на более интуитивные и «устойчивые к ошибкам»

инструменты высок; их появление способно изменить восприятие и ускорить широкое распространение методологии.

Анализ трёх современных концепций в секторе АЕСО и высшем образовании—информационного моделирования зданий (BIM), Smart Campus (SC) и проектно-ориентированного обучения (PBE)—показывает их высокий потенциал для повышения качества обучения BIM и одновременного развития университетской среды. Эти подходы формируют взаимно усиливающую интеграцию в образовательном процессе. Несмотря на организационные ограничения, календарные рамки и вопросы унификации, указанные препятствия поддаются преодолению за счёт методической доработки и компенсируются выраженными положительными эффектами.

Существующие исследования убедительно подтверждают ценность каждой из указанных концепций по отдельности. Представленная работа делает первый шаг к раскрытию их синергии в национальном контексте Казахстана, где внедрение BIM находится на ранней стадии, а стандарты и образовательные практики ещё формируются. Опираясь на актуальные разработки, был подготовлен и реализован курс по BIM с проектным компонентом, сконструированный в логике «золотого стандарта» PBE. Успешная реализация первого шага инициативы Smart Campus в Satbayev University в рамках этого курса подтвердило состоятельность предложенного подхода и целесообразность его тиражирования в академическом сообществе, ориентированном на внедрение BIM через развитие SC и применение PBE.

Такой подход также может использоваться для внедрения BIM технологий для эксплуатации существующих объектов в Казахстане. Университеты имеющие программы подготовки специалистов строительной отрасли могут взять на себя инициативу и выступить в роли объектов для пилотных проектов по всей стране. Их результаты способны сформировать опыт для дальнейшего внедрения на других государственных объектах.

Ограничения данного исследования связаны с реализацией в рамках одного университета и одного учебного цикла, а также с разновременностью участия междисциплинарных команд. Дальнейшая работа видится в синхронизации учебных планов для одновременного участия архитекторов, конструкторов и МЕР-направлений; в разработке и апробации единых регламентов CDE; в количественной оценке образовательных результатов (learning outcomes) и в поэтапном распространении SC-подхода на весь кампус. Эти шаги позволят углубить интеграцию BIM в образование и устойчиво повысить качество подготовки кадров для сектора АЕСО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационного исследования. В результате выполненного исследования сформирован целостный подход к осмыслению и совершенствованию процессов внедрения технологий информационного моделирования зданий (BIM) в архитектурно-строительной отрасли Казахстана. Проведена систематизация современных представлений о BIM: проанализированы ключевые подходы к определению и структуре BIM как координационной среды, охватывающей полный жизненный цикл здания. Впервые в казахстанском контексте выполнен структурированный критический анализ государственной стратегии внедрения BIM с учётом нормативных, институциональных и образовательных факторов, выявлены причины недостаточной результативности прежних мер (низкая координация, слабая поддержка нормативной базы, ограниченная вовлечённость профессионального сообщества). Особое внимание уделено образовательному аспекту: обобщены международные подходы к внедрению BIM в архитектурно-инженерное образование и выявлены структурные барьеры в системе подготовки кадров РК. На основе этого разработаны и апробированы прикладные решения для преодоления выявленных барьеров – создана магистерская программа по BIM, подготовлено авторское учебное пособие и внедрён учебный курс «Основы BIM», а также реализован пилотный проект цифрового двойника университетского кампуса. Указанные результаты введены в научный и практический оборот впервые и доказали свою эффективность, выступая моделью интеграции образования, науки и практики в сфере цифровой трансформации строительства.

Оценка полноты решений поставленных задач. Все задачи, сформулированные во введении диссертации, решены в полном объёме. Первая глава исследования охватывает исторические этапы развития средств автоматизации проектирования и раскрывает сущность и компоненты BIM, тем самым выполняя задачи по анализу эволюции технологий и базовых понятий. Также приведены примеры эффективного применения BIM в мировой и отечественной практике, что соответствует поставленной цели демонстрации актуальных кейсов. Вторая глава посвящена анализу внедрения BIM на государственном уровне: проведён сравнительный анализ стратегий разных стран и исследовано текущее состояние внедрения BIM в Казахстане (нормативные условия, институциональные предпосылки), закрывая задачи по сопоставлению международного опыта с национальным контекстом. Наконец, в третьей главе представлены рекомендации по совершенствованию государственной стратегии и конкретные меры по интеграции BIM-компетенций в образовательные программы, полностью реализуя задачи, связанные с выработкой практико-ориентированных предложений. Таким образом, все цели исследования достигнуты, а

поставленные задачи логично увязаны с полученными результатами каждого раздела работы.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов. Полученные в диссертации результаты имеют прикладной характер и могут быть непосредственно использованы в различных сферах. Предложены конкретные рекомендации для совершенствования национальной стратегии внедрения BIM – в частности, меры по обновлению нормативно-правовой базы, внедрению профессиональных стандартов и системной подготовке кадров. Авторские образовательные разработки (новая магистерская программа, учебное пособие и курс «Основы BIM») уже внедрены в Satbayev University и могут быть адаптированы другими вузами и центрами повышения квалификации для подготовки специалистов с современными цифровыми компетенциями. Кроме того, пилотный проект создания цифрового двойника университетского кампуса служит моделью для реализации аналогичных инициатив в рамках концепций «Цифрового университета» и «Smart City». В целом материалы диссертации представляют практическую ценность для органов государственного управления, отраслевых ассоциаций, девелоперских, проектных и эксплуатационных организаций, заинтересованных во внедрении инновационных BIM-технологий в Казахстане.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Диссертационная работа подтверждает высокую технико-экономическую эффективность внедрения BIM-технологий, опираясь на данные мировой и отечественной практики. Применение BIM при проектировании и строительстве приводит к сокращению сроков и затрат, а также к повышению качества и безопасности. В частности, отмечено, что благодаря BIM общий бюджет строительства снижается на 5–10% за счёт уменьшения числа переделок и оптимизации закупок материалов; количество запросов на изменение (RFI) сокращается на 20–40%, что отражает более согласованную работу участников проекта. Точное 3D-моделирование и визуализация узлов на стройплощадке уменьшают количество ошибок при монтаже, повышая качество выполнения работ. На этапе эксплуатации использование информационной модели здания также даёт значительный эффект: интеграция BIM с системами управления объектом позволяет снизить ежегодные расходы на содержание и обслуживание здания на 15–17% благодаря оптимизации графиков профилактических работ и энергосбережению. В случаях внедрения цифровых двойников отмечено уменьшение потребления энергии до 20% за счёт анализа данных эксплуатации и точной настройки систем здания. Кроме прямых экономических выгод, переход на BIM имеет мультипликативный эффект за счёт подготовки кадров: формируется новое поколение специалистов, владеющих цифровыми технологиями и методологиями BIM, что повышает общую производительность и инновационный потенциал отрасли.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Выполненная диссертация соответствует высокому научному уровню и сопоставима с передовыми мировыми исследованиями в области BIM. Автором проведён всесторонний анализ актуальных зарубежных источников и практик: в работе учитываются фундаментальные труды ведущих исследователей (Eastman, Succar, Sacks и др.), современные стандарты информационного моделирования (например, NBIMS) и новейшие концепции (4D/5D/6D BIM, цифровые двойники зданий и пр.), что свидетельствует об опоре на самые современные достижения науки. Содержание и новизна работы соотносятся с международной повесткой: в диссертации сопоставлен опыт внедрения BIM в ряде развитых стран (Великобритания, США, Сингапур, Южная Корея и др.), на основе чего дана объективная оценка положения дел в Республике Казахстан и выявлены направления для развития, учитывающие лучшие зарубежные практики. Предложенные в исследовании решения (корректировка стратегии, новые образовательные программы, применение цифрового двойника кампуса и др.) оригинальны для казахстанской отрасли и находятся в русле глобальных трендов цифровой трансформации строительства. Таким образом, диссертация по охвату тематики, глубине анализа и практической значимости не уступает лучшим работам в данной сфере, одновременно заполняя существующие пробелы в отечественной науке и повышая уровень исследований Казахстана до современных международных стандартов.

REFERENCES

1. Baier, B., Birshstein, U., et al. *History of Humankind*. – Moscow: AST, 2002. – 640 pp.
2. *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*: conference paper / Massachusetts Institute of Technology (MIT) / eds. Sheridan T.B., Verplank W.L., Brooks T.L. – Cambridge, MA, 1978. – pp. 168–172.
3. Buede, D.M., Miller, W.D. *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*. – Wiley, 2009.
4. *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework* : Stanford Research Institute (SRI) / ed. Engelbart D.C. – Washington, DC, 1962.
5. Sutherland, I.E. *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System* : PhD Thesis. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 1963. – 181 pp.
6. Alexander, C., Silverstein, M., Angel, S., Ishikawa, S., Abrams, D. *The Oregon Experiment*. – Oxford University Press, 1975.
7. Alexander, C. *Notes on the Synthesis of Form*. – Harvard University Press, 1964. – 224 pp.
8. Rappaport, A.G. *Toward an Understanding of Architectural Form* : Doctoral Dissertation. – Institute of Architecture, Moscow, 2002. – 141 pp.
9. *Computer Aided Architectural Design at UCLA* : UCLA School of Architecture and Urban Planning / ed. Mitchell W.J., 1977. – 8 pp.
10. Eastman, C.M. *The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design* // AIA Journal, 1975, pp. 178–201.
11. *An Outline of the Building Description System* : ERIC / eds. Eastman C., et al., 1974.
12. BCFA. BIM (Building Information Model). – URL: https://www.thebcfa.com/BIM_Building_Information_Model
13. Eastman, C.M., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. – John Wiley & Sons, 2008.
14. *Architects' Journal. CAD – The Greatest Advance in Construction History*. – URL: <https://www.architectsjournal.co.uk/cad-the-greatest-advance-in-construction-history/1996442.article>
15. Turing, A. *Computing Machinery and Intelligence* // Mind, 1950, Vol. LIX, No. 236, pp. 433–460.
16. McCulloch, W.S., Pitts, W. *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity* // Bulletin of Mathematical Biophysics, 1943, pp. 115–133.

17. Sterling, B. Web Semantics: Microsoft Project Turing introduces Turing NLG // Wired, 2020, p. 619.
18. Psychology Today. What Caused the AI Renaissance. – URL: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-future-brain/201901/what-caused-the-ai-renaissance>
19. Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper : Strategy Paper / UK Cabinet Office / BIM Working Party. – London, UK, 03.2011. – pp. 1–16. – Backup Publisher: Government Construction Client Group.
20. Succar, B. Building Information Modelling Maturity Matrix // in: Handbook of Research on Building Information Modelling and Construction Informatics: Concepts and Technologies / eds. J. Underwood, U. Isikdag. – Hershey, PA: IGI Global, 2010. – pp. 65–103.
21. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. – International Organization for Standardization, Geneva, 07.2018.
22. AIA E202™–2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit : Industry Standard / The American Institute of Architects. – Washington, DC, 2008.
23. Talapov, V. BIM Technology: Standards, Classifiers and Maturity Levels. – URL: <https://sapr.ru/article/24774>
24. Patel, A. The Top 10 BIM Software You Need to Know in 2025. – 2025.
25. Marwah, K.S. Top Pros & Cons of BIM Technology: Is it Worth Implementing? – 2023.
26. Matarneh, R., Danso-Amoako, M., Al-Bizri, S., Gaterell, M. Building Information Modelling for Facilities Management: A literature review and future research directions // Automation in Construction, 2019, Vol. 103, pp. 41–52.
27. Alkaabi, R., Alwaer, H., Zaki, S., Abuarqoub, A., Abuarqoub, A., et al. A systematic review of digital twin technology in building operation for energy efficiency improvement // Energy Informatics, 2024, Vol. 7, No. 1, pp. 1–29.
28. Abubakar, A., Hasan, A., Sadeghi, M., Zhang, Y., et al. A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage // Journal of Building Performance and Digital Engineering, 2024.
29. Agwa, T.C., et al. From Barriers to Breakthroughs: A Deep Dive into BIM Implementation Challenges // Buildings, 2025, Vol. 15, No. 7, p. 1116.
30. Chmeit, R., Lyu, J., Pitt, M. Implementation Challenges of Building Information Modelling (BIM) in Small to Medium-Sized Enterprises (SMEs) Participating in Public Projects in Qatar // Computer and Decision Making – An International Journal, 2024, Vol. 1, pp. 252–279.

31. Ma, Z., Pan, W., Tam, V.W.Y. Critical success factors for BIM implementation in Hong Kong // Engineering, Construction and Architectural Management, 2018, Vol. 25, No. 5, pp. 581–593.
32. Coates, P., Arayici, Y., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., O'Reilly, K. The Limitations of BIM in the Architectural Process // First International Conference on Sustainable Urbanization (ICSU 2010), Hong Kong, China, 15–17 December 2010. – Hong Kong: University of Salford, 2010. – pp. [n/a].
33. Shafiq, M.T., Matthews, J., Lockley, S., Love, P.E.D. Model server enabled management of collaborative changes in building information models // Frontiers of Engineering Management, 2018, Vol. 5, No. 3, pp. 298–306.
34. Karasu, T., Aaltonen, K., Haapasalo, H. The interplay of IPD and BIM: a systematic literature review // Construction Innovation, 2023, Vol. 23, No. 3, pp. 640–664.
35. Yu, R., Gu, N., Ostwald, M. Evaluating Creativity in Parametric Design Environments and Geometric Modelling Environments // Design Studies, 2016, Vol. 45, pp. 19–39.
36. Yang, L., et al. A 3D Parameterized BIM-Modeling Method for Complex Structural Components // Buildings, 2024, Vol. 14, No. 6, p. 1752.
37. Habib, U.E.H. BIM Roles and Responsibilities in Developing Countries // Buildings, 2022, Vol. 12, No. 10, p. 1752.
38. Zhai, Y. The Standardization Method and Application of the BIM Component in Interchanges // Applied Sciences, 2022, Vol. 12, No. 17, p. 8787.
39. Smith, Currie & Hancock LLP. Contractual Considerations for Melding BIM with Integrated Project Delivery // Common Sense Contract Law (Smith Currie), 2015.
40. Duy Mac. BIM for a Desert Rose: Façade engineering by Werner Sobek for the National Museum of Qatar. – URL: https://www.detail.de/de_en/bim-for-a-desert-rose-facade-engineering-by-werner-sobek-for-the-national-museum-of-qatar-34298
41. Nationalmuseum Katar – Werner Sobek – Sustainable Engineering & Design. – URL: <https://www.newyork-architects.com/en/werner-sobek-nachhaltiges-engineering-and-design-stuttgart/project/national-museum-of-qatar-1>
42. Louvre Abu Dhabi – Project Case Study – RLB Americas.
43. The Business Value of BIM in the Middle East: 2017 SmartMarket Report / Dodge Data & Analytics. – Bedford, MA, 2017.
44. Museum of the Future | Visit Dubai. – URL: <https://www.visitdubai.com/ru/places-to-visit/museum-of-the-future>
45. Emad, S., Aboulnaga, M., Wanas, A., Abouaiana, A. The Role of Artificial Intelligence in Developing the Tall Buildings of Tomorrow // Buildings, 2025, Vol. 15, No. 5.

46. Sydney Opera House Case Study Report – Part 1: BIM for Asset/Facility Management : Case Study Report / SBEnrc / Curtin University / eds. Sanchez A.X., Hampson K.D., Mohamed S. – Perth, Western Australia, 09.2015. – 28 pp. – Backup Publisher: Sustainable Built Environment National Research Centre (SBEnrc).
47. BIMCAP. Sydney Opera House – BIM Project (7D Facility Management, LOD 500, 4D Construction). – URL: <https://www.bimcap.com/project/sydney-opera-house>
48. Unsplash. Photo by Susan Kuriakose on Unsplash. – URL: <https://unsplash.com/photos/sydney-opera-house-near-body-of-water-during-daytime-Lhg4SEhK7SI>
49. Digital School – Technical Design College. *How the Sagrada Familia Can Inspire Your BIM Technician Career* (Blog). – URL: <https://www.digitalschool.ca/how-the-sagrada-familia-can-inspire-your-bim-technician-career/>
50. BIMLib. **8 proektov so vsego mira, gde ispol'zovali BIM** // Published: BIMLib Articles. – URL: <https://bimlib.pro/articles/8-proektov-so-vsego-mira-gde-ispolzovali-bim>
51. PRO TiM Удивительные BIM-проекты со всего мира // Published: Новости PRO TiM. - URL: <https://pro-tim.ru/news/udivitelnye-bim-proekty-so-vsego-mira> (дата обращения: 13.08.2025).
52. Shanghai Tower | Projects. - URL: <https://www.gensler.com/projects/shanghai-tower> (дата обращения: 15.08.2025).
53. BIMCommunity BIM in Large Projects: Successfully Managing Complex Infrastructure // Published: BIMCommunity Articles. - URL: <https://www.bimcommunity.com/bim-projects/bim-in-large-projects-managing-complex-infrastructure> (дата обращения: 13.08.2025).
54. Lakhta Center.
55. Kurilov R. Open BIM technologies in Russia: Usage and development of Open BIM in the Russian Federation : Bachelor's Thesis / R. Kurilov. – Lahti, Finland: LAB University of Applied Sciences, 2021.
56. LMSTEEL Consulting Sagl Lakhta Center Steel-eft Parametric Roof / Published: LMSteel Projects – Commercial and Office Building. - 2017.
57. World Construction Network Abu Dhabi Plaza, Astana, Kazakhstan // Published: World Construction Network – Projects. - URL: <https://www.worldconstructionnetwork.com/projects/abu-dhabi-plaza-astana/> (дата обращения: 13.08.2025).
58. Consolidated Contractors Company Abu Dhabi Plaza – Development, Design, Procurement & Construction // Published: CCC Projects – Abu Dhabi Plaza. -

URL: <https://www.ccc.net/project/abu-dhabi-plaza-2/> (дата обращения: 13.08.2025).

59. PlanRadar Blog Цифровизация строительства Казахстана 2023: переходим на BIM // Published: PlanRadar СНГ. - URL: <https://www.planradar.com/cis/cifrovizaciya-stroitelstva-kazahstana-perekhodim-na-bim> (дата обращения: 13.08.2025).

60. Pearson A. Engineering façades at Zaha Hadid's Morpheus hotel // CIBSE Journal, 2018, С. —.

61. Project Management Institute Morpheus Hotel Project // Published: PMI Learning Library. - URL: <https://www.pmi.org/learning/library/morpheus-hotel-project-11377> (дата обращения: 13.08.2025).

62. RCDS (NI) Ltd Tottenham Hotspur Stadium – Full Precast BIM Model (Terraces, Raker Beams, Walls, Stairs) // Published: RCDS Projects – Tottenham Hotspur Stadium. - URL: <https://www.rcdsni.co.uk/project/tottenham-hotspur-stadium/> (дата обращения: 13.08.2025).

63. Whizdom 101 | Condo | Bangkok | For Sale| Bangkok | Find Thai Property. - URL: <https://www.findthaiproperty.com/property/whizdom-101-2/> (дата обращения: 15.08.2025).

64. Solibri Brisbane's Queen's Wharf project wins prestigious buildingSMART International Award for Best Design // Published: Solibri News. - URL: <https://www.solibri.com/articles/brisbanes-queens-wharf-project-wins-prestigious-buildingsmart-international-award-for-best-design> (дата обращения: 15.08.2025).

65. DBM Vircon Queen's Wharf Brisbane Demonstrates the Power of BIM // Published: Built Environment Economist. - URL: <https://www.dbmvircon.com/queens-wharf-brisbane-demonstrates-the-power-of-bim/> (дата обращения: 15.08.2025).

66. BIMCommunity Queen's Wharf Brisbane, a large-scale OpenBIM project // Published: BIMCommunity. - URL: <https://www.bimcommunity.com/bim-projects/queen-s-wharf-brisbane-a-large-scale-openbim-project/> (дата обращения: 14.08.2025).

67. Bartolini O. The Role of Open BIM Technology in One of Queensland's Largest Developments // Published: ArchDaily. - URL: <https://www.archdaily.com/959906/the-role-of-open-bim-technology-in-one-of-queenslands-largest-developments> (дата обращения: 15.08.2025).

68. BIMTrack BIM Track for integrated resort development: Queen's Wharf Brisbane // Published: BIMTrack Case Study. - URL: <https://bimtrack.co/resources/case-studies-guides/bim-track-for-integrated-resort-development-queen-s-wharf-brisbane-by-dbm-vircon> (дата обращения: 15.08.2025).

69. PBC Today Australia's Queen's Wharf takes shape with Nemetschek AEC software // Published: PBC Today. - URL:

<https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction-news/bim-news/nemetschek-aec-software/89294/> (дата обращения: 15.08.2025).

70. Adrian Smith + Gordon Gill Architecture Kazakhstan Pavilion + Science Museum. - URL:

https://smithgill.com/work/kazakhstan_pavilion_science_museum/ (дата обращения: 15.08.2025).

71. ArchDaily Expo 2017 Legacy: World's Largest Sphere. - URL:

<https://www.archdaily.com/881152/expo-2017-legacy-worlds-largest-sphere> (дата обращения: 15.08.2025).

72. Sunglass Industry Nur Alem, Astana (KZ). - URL: <https://www.sunglass-industry.com/projects/nur-alem-astana-kz> (дата обращения: 15.08.2025).

73. Akash G., Amini R., Khosravi H. Assessment of BIM Implementation Barriers in Kazakhstan//Journal of Engineering Research and Reports, 2020, Т. 14, N 1, С. 1-13.

74. ArchDaily Emerson College Los Angeles / Morphosis Architects. - URL:

<https://www.archdaily.com/491193/emerson-college-los-angeles-morphosis-architects> (дата обращения: 15.08.2025).

75. American Institute of Steel Construction, Building Design+Construction Emerson College Los Angeles, Los Angeles. - URL:

<https://www.bdcnetwork.com/home/news/55160126/emerson-college-los-angeles-los-angeles> (дата обращения: 15.08.2025).

76. John A. Martin & Associates Emerson College Los Angeles Center. - URL:

<https://www.johnmartin.com/project/emerson-college-los-angeles-center/> (дата обращения: 15.08.2025).

77. Architizer Behind the Building: Emerson Los Angeles by Morphosis. - URL:

<https://architizer.com/blog/practice/materials/behind-the-building-emerson-los-angeles-morphosis/> (дата обращения: 15.08.2025).

78. Southern California Glass Management Association Emerson College Los Angeles Campus — Case Study. - URL:

<https://www.scgma.com/emerson-college-case-study/> (дата обращения: 15.08.2025).

79. Paris & Métropole Aménagement Eco-district Clichy-Batignolles:

environmental strategies. - URL: <https://www.paris-et-metropole-amenagement.fr/en/clichy-batignolles-paris-17th> (дата обращения: 15.08.2025).

80. BIMCommunity New Paris district shows how to create truly sustainable cities. - URL:

<https://www.bimcommunity.com/bim-projects/new-paris-district-shows-how-to-create-truly-sustainable-cities/> (дата обращения: 15.08.2025).

81. FPA/SPIE Batignolles Le BIM largement déployé sur le chantier de l'opération Stream Building. - URL:

<https://fpa.fr/2023/spie-batignolles-inauguration-stream-building/> (дата обращения: 15.08.2025).

82. Finavia Helsinki Airport Development Programme 2013–2023. - URL: <https://www.finavia.fi/en/finavias-investment-helsinki-airport-development-programme-2013-2023> (дата обращения: 15.08.2025).
83. Trimble First-class construction: How BIM data brought Helsinki Airport into the future. - URL: <https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/first-class-construction-how-bim-data-brought-helsinki-airport-into-the-future> (дата обращения: 15.08.2025).
84. BIMCommunity T2 Alliance Project: The Helsinki Airport Extension Redefining Construction with BIM. - URL: <https://www.bimcommunity.com/bim-projects/t2-project-airport-construction/> (дата обращения: 15.08.2025).
85. Tekla T2 Alliance, Helsinki Airport. - URL: <https://www.tekla.com/bim-awards/t2-alliance-helsinki-airport> (дата обращения: 15.08.2025).
86. Sitowise Helsinki Airport's development program had determined goals. - URL: <https://www.sitowise.com/customer-story/helsinki-airports-development-program-had-determined-goals> (дата обращения: 15.08.2025).
87. Zaha Hadid Architects Nanjing International Youth Cultural Centre. - URL: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/nanjing-culture-conference-centre/> (дата обращения: 15.08.2025).
88. ArchiCAD Asia Complex Design Delivery at Nanjing Youth Olympic Centre//ArchiCAD Asia Magazine, 2015, С. 34-39.
89. Bentley Systems Bentley Software Helps Build the Nanjing Youth Olympic Centre / Published: Bentley Project Showcase. - 2014.
90. Construction Management Case study: Victoria Gate, Leeds / Published: Construction Management Magazine.
91. Concrete Centre Victoria Gate, Leeds / Published: Concrete Centre Case Studies.
92. Kawneer UK Victoria Gate Leeds – Facade Systems Case Study / Published: Kawneer UK Projects.
93. BIM Technologies Victoria Gate Leeds / Published: BIM Technologies Case Studies.
94. Patterson Associates Len Lye Centre. - URL: <https://pattersons.com/project/len-lye-centre/> (дата обращения: 15.08.2025).
95. Graphisoft Case Study: Len Lye Centre — Patterson Associates / Published: PDF case study. - 2016.
96. Madsen D. Len Lye Centre//Architect Magazine, 2015.
97. ArchitectureNow Len Lye Centre. - URL: <https://architecturenow.co.nz/articles/len-lye-centre/> (дата обращения: 15.08.2025).

98. Civil Engineering (ASCE) Glistening Gallery. - URL:
https://www.civilengineering-digital.com/civilengineering/june_2016/MobilePagedArticle.action?articleId=893777 (дата обращения: 15.08.2025).
99. ArchitectureNow The art of building. - URL:
<https://architecturenow.co.nz/articles/the-art-of-building/> (дата обращения: 15.08.2025).
100. Govett-Brewster Art Gallery / Len Lye Centre Len Lye Centre. - URL:
<https://govettbrewster.com/the-gallery/len-lye-centre> (дата обращения: 15.08.2025).
101. Atelier Aitken Stainless Steel panels revealed on the Len Lye Centre. - URL:
<https://www.atelieraitken.org/new-blog/lenlyecentrestainless> (дата обращения: 15.08.2025).
102. ArchDaily Campus Örebro: Nova House / Juul Frost Architects. - URL:
https://www.archdaily.com/782793/campus-orebro-nova-house-juul-frost-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (дата обращения: 15.08.2025).
103. Archello Nova House, Campus Örebro. - URL:
<https://archello.com/project/campus-orebro> (дата обращения: 15.08.2025).
104. Solibri Nova House, Örebro University: Interview with Juul Frost Architects / Published: Solibri News. - 2018.
105. buildingSMART Nordic Campus Örebro: Nova House – An OpenBIM Success Story / Published: buildingSMART Nordic Case Study. - 2017.
106. Multiplex One Nine Elms Project Completion / Published: Multiplex News. - 2024.
107. Kohn Pedersen Fox One Nine Elms / Published: KPF Projects. - 2024.
108. New London Architecture One Nine Elms / Published: NLA London Database. - 2024.
109. Multiplex One Nine Elms – Virtual reality mock-up improves coordination / Published: Multiplex News. - 2018.
110. Trimble One Nine Elms, London, United Kingdom / Published: Tekla Global Reference Projects. - 2019.
111. Succar B., Kassem M. Macro-BIM adoption: Conceptual structures//Automation in Construction, 2015, T. 57, C. 64-79.
112. Rani H.A., Al-Mohammad M.S., Rajabi M.S., Rahman R.A. Critical Government Strategies for Enhancing Building Information Modeling Implementation in Indonesia//Infrastructures, 2023, T. 8, N 3, C. 57.

113. EU BIM Task Group EU BIM Task Group – Aligning national efforts into a common European approach to develop a world-class digital construction sector / Published: Official Website. - 2017.
114. Author(s) Unknown Barriers to Building Information Modeling (BIM) Implementation in Late-Adopting EU Countries: The Case of Portugal//Buildings, 2025, T. 15, N 10, C. 1651.
115. Kassem M., Succar B. Macro-BIM adoption: Comparative market analysis//Automation in Construction, 2017, T. 81, C. 286-299.
116. Oesterreich T.D., Teuteberg F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach//Computers in Industry, 2016, T. 83, C. 121-139.
117. Chong H.-Y., Lopez R., Wang J., Wang X., Zhao Z. Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects//Journal of Management in Engineering, 2016, T. 32, N 6, C. 05016021.
118. Miettinen R., Paavola S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling//Automation in Construction, 2014, T. 43, C. 84-91.
119. Author(s) Unknown Limitation Factors of Building Information Modeling (BIM) Implementation//The Open Construction and Building Technology Journal, 2019, T. 13, C. 189-199.
120. Author(s) Unknown BIM in the US: What the Data Says / Published: PlanRadar article. - 2023.
121. Author(s) Unknown The Top Five Barriers to BIM Implementation / Published: NBS Knowledge article. - 2020.
122. Author(s) Unknown Comprehensive Guide to National BIM Programs Around the World / Published: Revizto article. - 2024.
123. Rogers E.M. Diffusion of Innovations. – 5. – New York: Free Press, 2003.
124. Bew M., Richards M. BIM Maturity Model / Published: Constructing Excellence. - 2008.
125. Eischet O. BIM adoption across the world: A Global Outlook / Published: Medium article. - 2021.
126. Oti-Sarpong K., Leiringer R., Zhang S. A Critical Examination of BIM Policy Mandates: Implications and Responses // Construction Research Congress 2020: Project Management and Delivery, and Project Controls /. – Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020. – C. 763-772.
127. Bradley A., Li H., Lark R., Dunn S. BIM for Infrastructure: An Overall Review and Constructor Perspective//Automation in Construction, 2016, T. 71, C. 139-152.

128. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs//Automation in Construction, 2014, T. 38, C. 109-127.
129. Olatunji O.A. Views on Building Information Modelling, Procurement and Contract Management//Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law, 2014, T. 167, N 3, C. 117-126.
130. Ofori G. Indicators for measuring construction industry development in developing countries//Building Research and Information, 2001, T. 29, N 1, C. 40-50.
131. Jiang R., Wu C., Lei X., Shemery A., Hampson K.D., Wu P. Government efforts and roadmaps for building information modeling implementation: lessons from Singapore, the UK and the US//Engineering, Construction and Architectural Management, 2022, T. 29, N 2, C. 782-818.
132. Government Construction Board : Definition; Guidance; Organisation. - URL: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Government_Construction_Board (дата обращения: 15.05.2022).
133. Liu S., Xie B., Tivendale L., Liu C. Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry//International Journal of Marketing Studies, 2015, T. 7, C. 162.
134. About the National BIM Standard-United States® V4 | National BIM Standard - United States. - URL: <https://www.nationalbimstandard.org/about> (дата обращения: 19.01.2023).
135. Mustaffa N.E., Salleh R.M., Ariffin H.L.B.T. Experiences of Building Information Modelling (BIM) adoption in various countries // International Conference on Research and Innovation in Information Systems, ICRIIS. – 2017.
136. admin Democracy Ranking 2015.
137. 2021 Corruption Perceptions Index - Explore the results. - URL: <https://www.transparency.org/en/cpi/2021> (дата обращения: 14.05.2022).
138. GDP per capita. - URL: <https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank> (дата обращения: 19.01.2023).
139. Value added to GDP by U.S. construction 2021. - URL: <https://www.statista.com/statistics/785445/value-added-by-us-construction/> (дата обращения: 19.01.2023).
140. BigRentz Commercial Construction Cost Per Square Foot in the U.S. | BigRentz. - URL: <https://www.bigrentz.com/blog/commercial-construction-cost-per-square-foot> (дата обращения: 19.01.2023).
141. What Is the Average Profit Margin for Construction Industry? - URL: <https://www.freshbooks.com/hub/estimates/average-profit-margin-for-construction-industry> (дата обращения: 19.01.2023).

142. Edirisinghe R., London K. Comparative Analysis of International and National Level BIM Standardization Efforts and BIM adoption. – 2015.
143. Construction Labor Productivity : U.S. Bureau of Labor Statistics. - URL: <https://www.bls.gov/productivity/highlights/construction-labor-productivity.htm> (дата обращения: 19.01.2023).
144. Vandezande J. Status of BIM Adoption in the US, P. 35.
145. Singapore: GDP of construction industry 2021. - URL: <https://www.statista.com/statistics/625473/gdp-of-the-construction-industry-in-singapore/> (дата обращения: 19.01.2023).
146. S'pore's private property second-most expensive in the world: CBRE report. - URL: <https://www.todayonline.com/singapore/singapore-worlds-second-most-expensive-housing-market-cbre-report> (дата обращения: 15.01.2023).
147. Singapore developers' profit margins on the downtrend. - URL: <https://www.propertyguru.com.sg/property-management-news/2021/3/197305/singapore-developers-profit-margins-on-the-downtrend> (дата обращения: 15.01.2023).
148. Джупарбековна М.Г., Владимировна Б.О. Применение bim технологий для реконструкции и модернизации существующей застройки//Проблемы современной науки и образования, 2020, N 5 (150), С. 87-91.
149. Wong A.K.D., Wong F.K.W., Nadeem A. Attributes of building information modelling implementations in various countries//Architectural Engineering and Design Management, 2010, T. 6, N SPECIAL ISSUE, С. 288-302.
150. Wash M. Challenges in implementing BIM: Singapore sports hub - A case study//Structural Engineer, 2013, T. 91, Challenges in implementing BIM, N 11, С. 78-83.
151. BIM Essential Guides. - URL: <https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/bim-essential-guides.aspx> (дата обращения: 19.01.2023).
152. Yen L.S. Challenges and opportunities for land surveyors. - 2013.
153. Teo E.A.L., Ofori G., Tjandra I.K., Kim H. The potential of Building Information Modelling (BIM) for improving productivity in Singapore construction // Proceedings of the 31st Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2015. – 2015. – С. 661-670.
154. Rhodes C. The construction industry: statistics and policy, 2023, The construction industry.
155. Costmodelling - Typical building costs. - URL: <https://costmodelling.com/building-costs> (дата обращения: 19.01.2023).
156. Pache J. THE POWER OF BIM IN CONCEPTUAL AIRPORT PLANNING. - 2022.

157. Robinson C. Structural BIM in action//Structural Engineer, 2008, T. 86, N 21, C. 16-18.
158. Fu C., Aouad G., Lee A., Mashall-Ponting A., Wu S. IFC model viewer to support nD model application//Automation in Construction, 2006, T. 15, N 2, C. 178-185.
159. UK construction BIM adoption rate 2020. - URL: <https://www.statista.com/statistics/1019177/construction-industry-bim-adoption-rate-uk/> (дата обращения: 15.05.2022).
160. Mcadam B. Building information modelling: the UK legal context//International Journal of Law in the Built Environment, 2010, T. 2, Building information modelling, N 3, C. 246-259.
161. Ozorhon B., Karahan U. Critical Success Factors of Building Information Modeling Implementation//Journal of Management in Engineering, 2017, T. 33, N 3.
162. Doubell A., Leathers R., Marriott I. The London 2012 international broadcast centre//Structural Engineer, 2012, T. 90, N 6, C. 45-52.
163. Smith S. Building information modelling - moving Crossrail, UK, forward//Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law, 2014, T. 167, N 3, C. 141-151.
164. Government Construction Strategy: trial projects. - URL: <https://www.gov.uk/government/publications/government-construction-strategy-trial-projects> (дата обращения: 15.05.2022).
165. Productivity in the construction industry, UK - Office for National Statistics. - URL: <https://www.ons.gov.uk/economy/economicoutputandproductivity/productivitymeasures/articles/productivityintheconstructionindustryuk2021/2021-10-19> (дата обращения: 19.01.2023).
166. Российская Федерация О федеральном бюджете на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов. - Собрание законодательства Российской Федерации, 2013.
167. Динамика цен на недвижимость в России: по годам, городам. - URL: <https://rosinfostat.ru/dinamika-tsen-na-nedvizhimost/> (дата обращения: 20.01.2023).
168. Рентабельность продаж по отраслям (видам деятельности). - URL: <https://www.testfirm.ru/finfactor/grossmargin/> (дата обращения: 03.01.2023).
169. Сидорук Р., Кузнецов М., Ермаков К., Красильников А. Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности//CADmaster, 2006, N 1(31).
170. Сравнительный анализ стран по уровню применения ПО в BIM, 2004–2020. - URL: <https://media.licdn.com/dms/image/C4D12AQFm-3->

HRvKmyw/article-inline_image-shrink_1500_2232/0/1608201762123 (дата обращения: 03.01.2023).

171. Усов И.Н. Внедрять, нельзя ждать! Об опыте и перспективах применения BIM в строительстве. - URL: <https://bimlib.pro/articles/vnedryat-nelzya-jdat-ob-opyte-i-perspektivah-primeneniya-bim-v-stroitelstve-36> (дата обращения: 03.01.2023).

172. Талапов В.В. Внедрение BIM в России: куда оно пойдёт? - URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17535 (дата обращения: 21.01.2023).

173. Уровень применения BIM в России: Отчёт об исследовании : ООО «Конкуратор»; НИУ МГСУ. - Москва, 2017.

174. Королев И. Цифровизация российских регионов обойдется в 250 миллиардов. - URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-07-06_tsifrovizatsiya_rossijskih (дата обращения: 03.01.2023).

175. ПОЧЕМУ РОССТАНДАРТ ОТМЕНИЛ ОСНОВНЫЕ ГОСТЫ ПО BIM? - URL: https://concurator.ru/press_center/publications/?id_object=335 (дата обращения: 03.01.2023).

176. Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331: Об установлении случаев, при которых застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства. - Москва: Правительство Российской Федерации, 2021.

177. ГОРПРОЕКТ — Лахта Центр.

178. makev Прогулка по будущему. Как проектируют современные небоскребы. - URL: <https://habr.com/ru/companies/lakhtacenter/articles/407667/> (дата обращения: 21.01.2023).

179. Минстрой отобрал 12 пилотных проектов для внедрения BIM-технологий. - URL: <https://tass.ru/nedvizhimost/6281234> (дата обращения: 03.01.2023).

180. World Bank World Development Indicators 2012. – Washington, DC: World Bank Publications, 2012. – 1–441 с.

181. Zhao X., Hwang B.-G., Low S.P. Critical Success Factors for Enterprise Risk Management in Chinese Construction Companies//Construction Management and Economics, 2019, T. 37, N 10, C. 567-582.

182. Jin R., Hancock C.M., Tang L., Chen C. BIM Investment, Returns, and Risks in China's AEC Industries//Journal of Construction Engineering and Management, 2017, T. 143, N 12, C. 04017089.

183. Wang X., Chong H.-Y. Setting New Trends of Integrated BIM Practice with Cloud-Based Construction Lifecycle Management//Automation in Construction, 2015, T. 57, C. 79-91.
184. Xu Y. The evolution of BIM ecosystems in China: Policy, market, and technology interactions//Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2024, T. 23, N 1, C. 77-89.
185. Arup Arup–PKPM Collaboration: Driving Interoperability in China’s BIM Landscape / Published: Company website. - 2023.
186. SmartMarket Report: The Business Value of BIM in China : McGraw Hill Construction / pyk. Dodge Data & Analytics. - Bedford, MA, 2015. - 1-64 c.
187. Annual Report on Informatization of the Construction Industry : Government Report / Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MOHURD) / pyk. MOHURD. - Beijing, 2014.
188. White Paper on BIM Application in China’s Construction Industry : White Paper / CABR / pyk. China Academy of Building Research. - Beijing, 2015.
189. Zhang L., Gao P. Institutional drivers of BIM adoption in China//Engineering, Construction and Architectural Management, 2021, T. 28, N 4, C. 1123-1141.
190. Wang J. Municipal strategies for smart construction: The role of BIM in urban development//Automation in Construction, 2025, T. 163, C. 105482.
191. Lee S. Policy frameworks for smart construction in China: The case of BIM//International Journal of Construction Management, 2020, T. 20, N 5, C. 345-358.
192. Yu H. Policy instruments and diffusion of BIM in China: An empirical assessment//Automation in Construction, 2024, T. 158, C. 105073.
193. Guiding Opinions on Coordinated Development of Intelligent Construction and Industrialization of Construction : Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China / pyk. MOHURD, National Development and Reform Commission, Ministry of Industry and Information Technology. - Beijing, 2020.
194. Nanjing Municipal Government Implementation Plan for Smart Construction Pilot City Program / Published: Official government website. - 2023.
195. buildingSMART International openBIM Awards 2023 Winners // buildingSMART International Standards Summit /. – Lille, France, 2023.
196. Autodesk Shanghai Tower: BIM for Sustainable Tall Building Design / Published: Case study, Autodesk official site. - 2012.
197. Jin R., Luo H., Wang Y. Lessons from Shanghai Tower: BIM-enabled Construction Management//Journal of Construction Engineering and Management, 2024, T. 150, N 2, C. 04023112.

198. Peng Y., Zhang S., Xu X. Digital Construction and BIM Application in Beijing Daxing International Airport//Automation in Construction, 2019, T. 103, C. 120-129.
199. University of Hong Kong BIM and Digital Delivery in Beijing Daxing International Airport / Published: Case report. - 2018.
200. Jin R., Hancock C., Tang L. BIM Adoption in the Chinese Construction Industry: Drivers and Barriers//Journal of Management in Engineering, 2015, T. 31, N 6, C. 05015004.
201. Wang X., Li H. Quantifying BIM Adoption in China: Evidence from Listed AEC Firms//Engineering, Construction and Architectural Management, 2022, T. 29, N 8, C. 3194-3213.
202. Cao D., Zhang H., Xu M. From Pilots to Production: Evolution of BIM Practices among General Contractors in Eastern China//Construction Innovation, 2025, T. 25, N 1, C. 112-134.
203. Herr C.M., Fischer T. BIM Adoption in China: Regional Disparities and SME Challenges//Frontiers of Architectural Research, 2019, T. 8, N 4, C. 564-577.
204. World Bank World Development Indicators 2012. – Washington, DC: World Bank, 2012.
205. Economic Planning Unit Eleventh Malaysia Plan, 2016-2020: Anchoring Growth on People. – Putrajaya, Malaysia: Prime Minister's Department, 2015.
206. Abd Hamid Z., Zakaria R., Singh D. Driving Construction Industry Performance in Malaysia through Strategic Initiatives//Journal of Construction in Developing Countries, 2018, T. 23, N 1, C. 19-34.
207. Kamar K.A.M., Alshawi M., Hamid Z.A. BIM and IBS Integration: A Holistic Approach towards the Future of Malaysia's Construction Industry//Journal of Engineering, Design and Technology, 2012, T. 10, N 1, C. 43-60.
208. Succar B., Kassem M. Macro-BIM Adoption: Conceptual Structures//Automation in Construction, 2015, T. 57, C. 64-79.
209. Construction Industry Master Plan Malaysia 2005–2015 : CIDB Malaysia / pyk. Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia. - Kuala Lumpur, 2007.
210. Arayici Y., Coates P., Koskela L., Kagioglou M., Usher C., O'Reilly K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice//Automation in Construction, 2011, T. 20, N 2, C. 189-195.
211. BIM Roadmap for Malaysia 2014–2020 : CIDB Malaysia / pyk. Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia. - Kuala Lumpur, 2015.
212. Ismail N.A.A., Chiozzi M., Drogemuller R. An overview of BIM uptake in Asian developing countries//Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 2019, T. 24, C. 104-118.

213. Wong J., Salleh H., Rahim F. Drivers and Barriers in the Implementation of Building Information Modelling (BIM) in Malaysia//International Journal of Built Environment and Sustainability, 2020, T. 7, N 1, C. 1-9.
214. BIM Implementation Strategy for Public Projects : CIDB Malaysia / pyk. Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia. - Kuala Lumpur, 2016.
215. CITP 2016–2020 Progress Report : Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia / pyk. CIDB Malaysia. - Kuala Lumpur, Malaysia, 2016.
216. Construction Industry Transformation Programme (CITP) 2016–2020 : Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia / pyk. CIDB Malaysia. - Kuala Lumpur, Malaysia, 2015.
217. CIDB Malaysia myBIM Centre Official Launch / Published: Press release. - 2017.
218. CIDB Malaysia Malaysian BIM Guide. – Kuala Lumpur, Malaysia: Construction Industry Development Board Malaysia, 2013.
219. BuildingSMART International Implementation of ISO 19650 in Malaysia / Published: Online resource. - 2020.
220. Wong J., Salleh H., Rahman I. BIM Implementation in Malaysia: Drivers, Barriers and Future Outlook//Journal of Engineering Science and Technology, 2020, T. 15, N 6, C. 4264-4277.
221. Ismail S., Chiozzi M., Drogemuller R. Barriers and Drivers to BIM Implementation in Malaysia: A Case Study of KLIA2//International Journal of Construction Management, 2019, T. 19, N 2, C. 93-105.
222. Mohamad K., Kamar K., Hamid Z. BIM Application in MRT Sungai Buloh–Kajang Line Project // Proceedings of the International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE) /. – Kuala Lumpur, Malaysia: ICCEE, 2018. – C. 112-119.
223. Annual Report 2020: BIM in Public Infrastructure Projects : Construction Industry Development Board Malaysia / pyk. CIDB Malaysia. - Kuala Lumpur, Malaysia, 2020.
224. World Development Indicators: Kazakhstan : World Bank / pyk. World Bank. - Washington, DC, 2022.
225. Corruption Perceptions Index 2016 : Transparency International / pyk. Transparency International, 2016.
226. Government of Kazakhstan Digital Kazakhstan Programme / Published: Web page. - 2017.
227. Construction Statistics, 2016 : Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan / pyk. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan, 2016.

228. Wikipedia contributors Nurly Zhol / Published: Wikipedia. - 2024.
229. CAREC Corridor Performance Measurement and Monitoring: Annual Report 2017 : Asian Development Bank / пер. Asian Development Bank, 2017.
230. Isicad.net The concept of BIM implementation in Kazakhstan: basic facts / Published: Web article. - 2018.
231. Global BIM Network Approval of the Action Plan for the implementation of information modeling technology in Kazakhstan / Published: Web page. - 2017.
232. buildingSMART International Iceland and Kazakhstan Join buildingSMART International as Developing Chapters. - 2024.
233. Akhanova G., Nadeem A. BIM and Total Building Commissioning: State-of-the-Art Review and a Survey of Kazakhstan's Construction Industry // Proceedings of the 33rd CIB W78 Conference 2016 /. – Brisbane, Australia, 2016.
234. Akhmetzhanova A., Karpov V., Enikeev S., Ukhova I., Kvint V. Clash Detection in Revit Software for the Design of the Residential Areas of Nur-Sultan, Kazakhstan//Buildings, 2022, T. 12, N 2, C. 102.
235. Digital Built Britain: Level 3 Building Information Modelling — Strategic Plan : Department for Business, Innovation & Skills / пер. HM Government. - London, 02.2015.
236. Akhmetzhanova B., Nadeem A., Hossain M.A., Kim J.R. Clash Detection Using Building Information Modeling (BIM) Technology in the Republic of Kazakhstan//Buildings, 2022, Vol. 12, No. 2, P. 102.
237. Akhanova G., Nadeem A., Kim J.R., Azhar S., Khalfan M. Building Information Modeling Based Building Sustainability Assessment Framework for Kazakhstan//Buildings, 2021, Vol. 11, No. 9, P. 384.
238. Yaskevich V., Kuspangaliev B., Tagliabue L.C., Umar T. Smart campus as a core of project-based BIM education in AECO // Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction (EC3) /. – EC-3, 2022. – P. 1-8.
239. Yaskevich V., Kuspangaliev B., Tagliabue L.C., Umar T. Designing a master degree program in building information modeling (BIM) using national professional standards: A case study in Kazakhstan//Bulletin of L. N. Gumilyov ENU. Technical Science and Technology Series, 2024, Vol. 149, No. 4, P. 326-350.
240. National Chamber of Entrepreneurs «Atameken» Цифровой проектировщик (специалист BIM) — профиль в «Атласе новых профессий и компетенций». - 2025.
241. Aitbayeva D., Hossain M.A. Building Information Model (BIM) Implementation in Perspective of Kazakhstan: Opportunities and Barriers//Journal of Engineering Research and Reports, 2020, Vol. 14, No. 1, P. 13-24.

242. АО “KazNIISA” Нормативные документы (ТИМСО, СП РК, отчёты по НИР) / Published: Official web page. - 2024.
243. RSE “Gosexpertiza” Приглашаем BIM-проекты для тестирования ГБИМ / Published: Official news item. - 2022.
244. RSE “Gosexpertiza” В Госэкспертизе подвели итоги пилотного проекта на базе ГБИМ / Published: Official news item. - 2024.
245. ПА “KAZGOR” Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM): услуги и обучение / Published: Company page. - Almaty, 2024.
246. Government State Expertise (RSE “Gosexpertiza”) GBIM – a single platform for interaction among participants in state expertise. - 2022.
247. PSS Graitec КазНИИСА: трамплин в развитие BIM (Детский сад на 240 мест). - URL: <https://pssbim.ru/realizovanniye-projecty/Prom-Grajdanskoe-stroitelstvo/Kazniisa.html> (дата обращения: 24.08.2025).
248. BI Group: Опыт успешного применения ПО Autodesk : Case study / Autodesk / рук. Autodesk, 2020. - 2 р.
249. Уровень развития и применения BIM-технологии в компаниях проектно-изыскательской отрасли Республики Казахстан: исследование. 2 волна, 2022 : НАПр РК / рук. Национальная Ассоциация проектировщиков Республики Казахстан. - Алматы, 11.2022.
250. Tatygulov A.A., Gizatulina A.Sh., Zhamankulov A.M. Level of BIM development and applying in design and engineering survey companies in the Republic of Kazakhstan: Research results//Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, 2020, T. 4, N 78, C. 101-106.
251. BIM-TIME Forum, Национальная Ассоциация проектировщиков Республики Казахстан Итоги IV Центральноазиатского BIM-TIME Форума: результаты 3-й волны исследования уровня развития и применения BIM-технологий в компаниях проектно-изыскательской отрасли РК. - 2024.
252. Semaan J., Underwood J., Hyde J. An investigation of work-based education and training needs for effective bim adoption and implementation: An organisational upskilling model//Applied Sciences (Switzerland), 2021, T. 11, An investigation of work-based education and training needs for effective bim adoption and implementation, N 18.
253. Rahman R.A., Ayer S.K., London J.S. Applying problem-based learning in a building information modeling course//International Journal of Engineering Education, 2019, T. 35, N 3, C. 956-967.
254. Zhang J., Xie H., Li H. Project based learning with implementation planning for student engagement in BIM classes//International Journal of Engineering Education, 2018, T. 35, N 1, C. 310-322.

255. Leite F., Brooks G. Integrating an Architectural Engineering Undergraduate Program with Building Information Modeling//Journal of Architectural Engineering, 2020, T. 26, N 2.
256. Sacks R., Barak R. Teaching building information modeling as an integral part of freshman year civil engineering education//Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 2010, T. 136, N 1, C. 30-38.
257. Ahn Y.H., Cho C.-S., Lee N. Building Information Modeling: Systematic Course Development for Undergraduate Construction Students//Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 2013, T. 139, Building Information Modeling, C. 290-300.
258. Leite F. Project-based learning in a building information modeling for construction management course//Journal of Information Technology in Construction, 2016, T. 21, C. 164-176.
259. Tsai M.-H., Chen K.-L., Chang Y.-L. Development of a Project-Based Online Course for BIM Learning//Sustainability, 2019, Vol. 11, No. 20, P. 5772.
260. Wu W., Issa R. BIM EDUCATION FOR NEW CAREER OPTIONS: AN INITIAL INVESTIGATION // Proceedings of the 2013 BIM Academic Workshop / Proceedings of the 2013 BIM Academic Workshop. – 2013. – BIM EDUCATION FOR NEW CAREER OPTIONS.
261. Mcgough D., Ahmed A., Austin S. INTEGRATION OF BIM IN HIGHER EDUCATION: CASE STUDY OF THE ADOPTION OF BIM INTO COVENTRY UNIVERSITY'S DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND BUILDING // Sustainable Building Conference 2013 / Sustainable Building Conference 2013. – Coventry University: Coventry University, 2013. – INTEGRATION OF BIM IN HIGHER EDUCATION. – C. 394-403.
262. Building Information Modelling (BIM) in Design Construction and Operations - MSc - UWE Bristol: Courses. - URL: <https://courses.uwe.ac.uk/K2101/building-information-modelling-bim-in-design-construction-and-operations> (дата обращения: 21.03.2021).
263. Programme Structure and Content | BIM A+ European Master.
264. Lee J., Kim B., Yonghan A.H.N. Building information modeling (BIM) technology education for the needs of industry in developing countries//International Journal of Engineering Education, 2018, T. 35, N 1, C. 126-141.
265. Babatunde S.O., Ekundayo D. Barriers to the incorporation of BIM into quantity surveying undergraduate curriculum in the Nigerian universities//Journal of Engineering, Design and Technology, 2019, T. 17, N 3, C. 629-648.
266. Abbas A., Din Z.U., Farooqui R. Integration of BIM in Construction Management Education: An Overview of Pakistani Engineering Universities //

- Procedia Engineering / Procedia Engineering. – 2016. – T. 145. – Integration of BIM in Construction Management Education. – C. 151-157.
267. Kordi N.E., Zainuddin N.I., Taruddin N.F., Tengku Aziz T.N.A., Abdul Malik A. A study on integration of building information modelling (BIM) in civil engineering curricular // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – T. 849.
268. Zhang J., Schmidt K., Li H. BIM and Sustainability Education: Incorporating Instructional Needs into Curriculum Planning in CEM Programs Accredited by ACCE//Sustainability, 2016, T. 8, BIM and Sustainability Education, C. 525.
269. Sacks R., Pikas E. Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis//Journal of Construction Engineering and Management, 2013, T. 139, Building information modeling education for construction engineering and management. I, N 11.
270. Pikas E., Sacks R., Hazzan O. Building information modeling education for construction engineering and management. II: Procedures and implementation case study//Journal of Construction Engineering and Management, 2013, T. 139, Building information modeling education for construction engineering and management. II, N 11.
271. Grealish L. Professional Standards in Curriculum Design: A Socio-Technical Analysis of Nursing Competency Standards // Practice-based Learning in Higher Education: Jostling Cultures / : Professional and Practice-based Learning / eds. M. Kennedy et al. – Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. – Professional Standards in Curriculum Design. – P. 85-98.
272. Huang J.-L., Chen H.-C., Wang C.-P., Hung J.-C. Construction and application of teacher professional standards and curriculum baseline for preservice teacher education//Journal of Research in Education Sciences, 2020, T. 65, N 2, C. 1-35.
273. Over 550 professional standards will be developed in Kazakhstan by 2020. - URL: <https://atameken.kz/en/news/22116-do-00-goda-v-kazahstane-budet-razrabotano-svyshe-0-professional-nyh-standartov> (дата обращения: 07.02.2022).
274. Walters A. 2011 BIM Working Group Strategy Paper : Text. - URL: <https://www.cdbb.cam.ac.uk/news/2011BIMStrategyPaper> (дата обращения: 21.03.2021).
275. European Higher Education Area and Bologna Process. - URL: <http://www.ehea.info/page-ministerial-declarations-and-communications> (дата обращения: 15.08.2020).
276. Wilhelm S., Förster R., Zimmermann A.B. Implementing Competence Orientation: Towards Constructively Aligned Education for Sustainable

- Development in University-Level Teaching-And-Learning//Sustainability, 2019, Vol. 11, Implementing Competence Orientation, No. 7, P. 1891.
277. Hakky R. Improving Basic Design courses through Competences of Tuning MEDA//Tuning Journal for Higher Education, 2016, Vol. 4, No. 1, P. 21-42.
278. Казахстан М. труда и социальной защиты населения Р., Казахстан М. образования и науки Р. Об утверждении Национальной рамки квалификаций: совместный приказ № 373-ө-м от 24.09.2012 и № 444 от 28.09.2012. - 2012.
279. Great Britain, Department for Communities and Local Government Multi-criteria analysis: a manual. Multi-criteria analysis. – Wetherby: Communities and Local Government, 2009.
280. Ngeru J. Multi-Criteria Decision Analysis Framework in the Selection of an Enterprise Integration (EI) Approach That Best Satisfies Organizational Requirements. – ProQuest LLC, 2012.
281. Erkan T.E., Rouyendegh B.D. Curriculum Change Parameters Determined by Multi Criteria Decision Making (MCDM): 5th World Conference on Educational Sciences//Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2014, Vol. 116, P. 1744-1747.
282. LW A., DR K., PW A., KA C., Mayer R., PR P., Rath J., MC W. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. – 2001.
283. Hughes W., Murdoch J.R. Roles in construction projects: analysis and terminology. Roles in construction projects. – Birmingham: Construction Industry Publications, 2001. – 176 p.
284. Sharunova A., Butt M., Qureshi A.J. Transdisciplinary Design Education for Engineering Undergraduates: Mapping of Bloom's Taxonomy Cognitive Domain Across Design Stages: 28th CIRP Design Conference 2018, 23-25 May 2018, Nantes, France//Procedia CIRP, 2018, Vol. 70, Transdisciplinary Design Education for Engineering Undergraduates, P. 313-318.
285. Hjelseth E. BIM understanding and activities // Proc. of the WIT Transactions on the Built Environment / WIT Transactions on the Built Environment. – 2017. – C. 3-14.
286. Di Giuda G., Locatelli M., Schievano M., Pellegrini L., Pattini G., Giana P., Seghezzi E. Natural Language Processing for Information and Project Management. – 2020. – C. 95-102.
287. Di Giuda G., Locatelli M., Seghezzi E. NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND BIM IN AECO SECTOR: A STATE OF THE ART//Proceedings of International Structural Engineering and Construction, 2020, T. 7, NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND BIM IN AECO SECTOR.

288. Zhang J., Xie H., Li H. Competency-based knowledge integration of BIM capstone in construction engineering and management education//International Journal of Engineering Education, 2017, T. 33, N 6, C. 2020-2032.
289. Информационное моделирование зданий. - URL:
<https://stepik.org/course/738/promo?auth=login> (дата обращения: 19.01.2022).
290. Fu F., Yu S.-C. The games in e learning improve the performance // 7th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET. – 2006. – C. 732-738.
291. Uhlig R., Viswanathan S., Watson J., Evans H. Effective instruction of an online engineering course // ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. – 2007.
292. Kim Y., Glassman M., Williams M.S. Connecting agents: Engagement and motivation in online collaboration//Computers in Human Behavior, 2015, T. 49, Connecting agents, C. 333-342.
293. Klimova B. An insight into online foreign language learning and teaching in the era of COVID-19 pandemic // Procedia Computer Science. – 2021. – T. 192. – C. 1787-1794.
294. De Angelis E., Ciribini A.L.C., Tagliabue L.C., Paneroni M. The Brescia Smart Campus Demonstrator. Renovation toward a zero Energy Classroom Building // Procedia Engineering. – 2015. – T. 118. – C. 735-743.
295. Kar A., Gupta M. How to make a Smart Campus - Smart Campus Programme in IIT Delhi. – 2015.
296. Jiang Y. Design and Development of Smart Campus System Based on BIM and GIS // 2017 6th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2017). – Atlantis Press, 2017. – P. 51-54.
297. Min-Allah N., Alrashed S. Smart campus—A sketch//Sustainable Cities and Society, 2020, T. 59, C. 102231.
298. Smart Campus Nazarbayev University. - 2020.
299. Larmer J., Mergendoller J., Boss S. Setting the Standard for Project Based Learning. – Alexandria, VA: ASCD, 2015. – 240 с.

1	НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ BIM	ОК	ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ BIM	2162-0-004 Т3.31.Зн8
			Национальные стандарты BIM	2161-0-002 Т1.31.Зн8
			Корпоративные стандарты BIM и их разработка	2161-0-002 Т1.31.Зн9
			Практика разработки корпоративного стандарта BIM	2151-2-030 Т1.32.Ум2
			Международные стандарты BIM и передовые практики	2162-0-004 Т3.31.Зн8
2	Совместная работа в среде общих данных (CDE)	ОК	Разработка CDE	2151-2-030 Т1.31.Ум1
			Применение CDE в процессе проектирования	2161-0-002 Т2.31.Ум9
			Документооборот в CDE	2144-1-003 Т1.34.Ум1
3.1	Инструменты BIM для архитекторов	КВ	Просмотр BIM-модели	2161-0-002 Т2.31.Ум8
			Презентация BIM-проекта	2161-0-002 Т2.31.Ум5
			Навыки работы с BIM-ПО	2161-0-002 Т2.33
3.2	Инструменты BIM для градостроителей и ландшафтных архитекторов	КВ	Автоматизация в BIM-проектировании: теория и практика Прогнозирование последствий проектных решений с помощью BIM-инструментов	2161-0-002 Т3.31.Зн10 2164-1-001 Т1.31.Ум3
			Автоматизация с применением BIM и GIS в процессе проектирования: теория и практика	2164-1-001 Т3.32.Ум2
			Сбор, анализ и применение данных	2162-0-004 Т2.31.Зн8
			Навыки работы с ПО BIM и GIS	2162-0-004 Т2.32.Ум3
3.3	Инструменты BIM для инженеров и конструкторов	КВ	Моделирование конструктивных и инженерных элементов в BIM	2144-1-003 Т1.32.УмS1 †
3.4	Приложения BIM для специалистов по автоматизирован	КВ	Разработка алгоритмов и приложений	2151-2-030 Т1.31.Ум3

	ным системам			
4	Проектная документация в BIM	ОК	Разработка библиотек, шаблонов и классификационных систем	2151-2-030 T1.31.Ум5
			Переход от утверждённой эскизной стадии к рабочей (строительной) документации	2161-0-002 T3.31.Ум2
			Определение объёмов работ и стоимости строительства	2149-5-003 T2.31.Ум1
			Разработка детализированной проектной документации	2144-1-003 T1.34.Ум2
5.1	Автоматизированные расчёты технико-экономических показателей	КВ	Подготовка данных для проектной документации	2151-9-008 T1.34.Ум2
			ТЭП для архитектурного проектирования	2161-0-002 T3.31.Ум6
			Основы расчётов по конструкциям	2149-5-003 T2.33.Ум4
5.2	Автоматизированные расчёты конструкций и инженерных систем	КВ	Продвинутые расчёты конструктивных и инженерных элементов/систем	2144-1-003 T1.33.Ум2
6.1	BIM и анализ проектных данных	КВ	Методы сбора данных	2161-0-002 T1.31.3н7
			Анализ предпроектных данных	2161-0-002 T1.31.Ум6
			Анализ данных эскизного проекта	2161-0-002 T2.31.Ум1
			Анализ документации и потоков данных	2161-0-002 T3.31.Ум1
			Анализ данных строительного процесса	2161-0-002 T4.31.Ум2
6.2	BIM и управление процессом проектирования	КВ	Использование результатов анализа для поддержки проектных решений	2161-0-002 T2.33.Ум3
			Планирование и контроль всех стадий проектного процесса	2161-0-002 T5.31.Ум4
			Подготовка и контроль комплектации и качества проектной документации	2161-0-002 T3.32.Ум6
			Проверка ошибок, коллизий и неутверждённых изменений	2161-0-002 T3.32.Ум5
			Обучение персонала	2161-0-002 T5.32.Ум3
6.3	BIM-проектирование (командное, проектно-	КВ	Применение инструментов, методов, ПО и технологий BIM в проектном процессе	2164-1-001 T3.33.Ум1

ориентированно
е)

Приложение Б

РАБОЧИЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН

Образовательной программы «ТИМСО (BIM) в архитектуре и строительстве»

Степень: Магистр техники и технологии

Срок обучения: 1,5 года

Год обучения	Код	Наименование дисциплины	Компонент	Кредиты		Лк/лб/пр	Пререквизиты	Код	Наименование дисциплины	Компонент	Кредиты		Лк/лб/пр	Пререквизиты
				ECTS	РК						ECTS	РК		
1	1 семестр							2 семестр						
	LNG 201	Иностранный язык (профессиональный)	БД ВК	5	3	0/0/3		ARC203	Рабочее проектирование в ТИМСО (ВІМ) (совместная работа в среде общих данных)	ПД КВ	5	3	1/0/2	
	MNG230	Проектный менеджмент (Менеджмент + Психология управления)	БД ВК	3	2	1/0/1		1203	Электив	ПД КВ	6	4	1/0/3	
	ARC 201	Основы ТИМСО (ВІМ)	ПД ВК	5	3	1/0/2		1204	Электив	ПД КВ	6	4	1/0/3	
	ARC202	Стандарты и методы применения ТИМСО (ВІМ)	ПД ВК	5	3	0/0/3		1205	Электив	ПД КВ	6	4	1/0/3	
	1101	Электив	БД КВ	4	2	2/0/0		AAP207	Экспериментально -исследовательская работа магистранта	ЭІРМ	6	4		
	1102	Электив	БД КВ	4	2	0/0/3								
	AAP207	Экспериментально-исследовательская работа магистранта	ЭІР М	6	4									
		Всего:		33	20				Всего:		31	19		
	2	3 семестр												
AAP207		Экспериментально-исследовательская работа магистранта	ЭІР М	6	4									
AAP208		Производственная практика	ПД	10	6									
ECA 501		Оформление и защита магистерской диссертации (ОиЗМД)	ІА	12	7									
		Всего:		28	17									
		Итого:		92	56									

КАТАЛОГ ЭЛЕКТИВНЫХ ДИСЦИПЛИН

Образовательной программы «ТИМСО (BIM) (BIM) в архитектуре и строительстве»

Степень: Магистр техники и технологии

Срок обучения: 1,5 года

БД Компоненты по выбору - 5 кредитов					
	код	Наименование дисциплин	кредиты	Лк/лб/пр	семестр
1101	ТИМСО 1101.1	Современные аспекты истории и теории градостроительства	2	2/0/0	1
	ТИМСО 1101.2	Устойчивая архитектура и градостроительство			
	ТИМСО 1101.3	Научные методы реконструкции и модернизации I			
	ТИМСО 1101.4	Устойчивость и сейсмостойкость зданий и сооружений			
	ТИМСО 1101.5	Конструктивные решения зданий и сооружений			
1102	ТИМСО 1102.(...)	Проектирование (по направлениям)	3	0/0/3	1
		Всего	5		
ПД Компоненты по выбору - 15 кредитов					
	код	Наименование дисциплин	кредиты	Лк/лб/пр	семестр
1203	ТИМСО 1203.1	Автоматизация в ТИМСО (BIM) (для архитекторов)	4	2/0/2	2
	ТИМСО 1203.2	Автоматизация в ТИМСО (BIM) (для ландшафтных архитекторов и градостроителей)			
1204	ТИМСО 1204.1	Расчеты в ТИМСО (BIM) (для архитекторов)	4	2/0/2	2
	ТИМСО 1204.2	Профессиональные компьютерные расчетные программы для строителей (для инженеров и конструкторов)			
	ТИМСО 1204.3	ТИМСО (BIM) на этапе строительства			
	ТИМСО 1204.4	ТИМСО (BIM) на этапе эксплуатации			
1205	ТИМСО 1205.1	Анализ проектных данных на основе информационной модели	4	2/0/2	2
	ТИМСО 1205.2	Контроль процессов информационного моделирования на стадии проектирования объекта			
	ТИМСО 1205.3	Проектирование объектов с использованием ТИМСО (BIM)			
		Всего	12		

№ ПР-351 от 13.04.2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ИНДУСТРИЯ ЖӘНЕ
ИНФРАҚҰРЫЛЫМДЫҚ
ДАМУ МИНИСТРЛІГІ ҚҰРЫЛЫС
ЖӘНЕ ТҰРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ
ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ КОМИТЕТІ

«ҚАЗАҚ ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ СӘУЛЕТ
ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ЖОБАЛАУ
ИНСТИТУТЫ» АКЦИОНЕРЛІК
ҚОҒАМ
«ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Бостандық ауданы,
Солодовников көшесі, 21. Телефон: 8 (727) 392-75-39,
факс: 8 (727) 392-75-92, e-mail: info@kazniisa.kz



МИНИСТЕРСТВО
ИНДУСТРИИ И ИНФРАСТРУКТУРНОГО
РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА И
ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»
АО «КазНИИСА»

050046, город Алматы, Бостандыкский район,
ул. Солодовникова, 21. Телефон: 8 (727) 392-75-39,
факс: 8 (727) 392-75-92, e-mail: info@kazniisa.kz

№ _____

Директору Института
архитектуры и строительства
имени Т.К. Басенова
Казахского национального
исследовательского технического
университета имени К.И. Сатпаева
Куспангалиеву Б.У.

На № 03-08/1160-1
от 30.03.2021 г.

Уважаемый Болат Урайханович!

АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры» (далее – АО «КазНИИСА») рассмотрев Ваше письмо, выражает поддержку и признательность в вопросе внедрения новых образовательных программ по использованию технологии информационного моделирования строительных объектов (ТИМСО) в учебный процесс ВУЗа.

Касательно рабочего учебного плана, каталога элективных дисциплин образовательной программы «ВІМ-технологии в архитектуре и строительстве», а также сводной таблицы компетенций, направленных в наш адрес, сообщаем следующее.

1. В каталоге элективных дисциплин рекомендуем:

- в названии дисциплин с кодами ВІМ120, ВІМ121, ВІМ122 заменить слово «Автоматический» на «Автоматизированный»;
- вместо аббревиатуры «ВІМ» использовать термин ТИМСО, в соответствии с утвержденной Концепцией внедрения технологии информационного моделирования в промышленное и гражданское строительство и РДС РК 1.02-04-2018 "Информационное моделирование в строительстве. Основные положения";
- изменить название дисциплин:
 - а) с «Анализ проектных данных в ВІМ» на «Анализ проектных данных информационной модели»;

б) с «Контроль процессов при проектировании в BIM» на «Контроль процессов информационного моделирования на стадии проектирования объекта»;

в) с «Проектирование в BIM» на «Проектирование объектов с использованием ТИМСО (BIM)»;

2. В рабочем учебном плане рекомендуем:

- вместо аббревиатуры «BIM» использовать термин ТИМСО, в соответствии с вышеизложенными рекомендациями;

- название дисциплины ARC201 изменить с «Государственные нормативы и стандарты BIM» на «Государственные нормативы и стандарты в области ТИМСО»;

- название дисциплины ARC202 изменить с «Корпоративные стандарты и методы применения BIM» на «Корпоративные стандарты и методы применения ТИМСО»;

3. В сводной таблице компетенций:

- рекомендуем заменить в графе «Градостроительства» название п.4 со «Знание основ методологии BIM: международные стандарты и передовая практика» на «Знание основ методологии ТИМСО: международные BIM стандарты и передовая практика»;

Вместе с тем, в целях получения качественных знаний в области основ применения ТИМСО, АО «КазНИИСА» выражает готовность оказывать необходимую поддержку и содействие Вашей организации, включая вопросы согласования контента учебных программ ВУЗа.

**Управляющий директор
по развитию и цифровизации**

А. Шахнович

*Исп.: Токтыбаев Д., Дауренбек К.
Тел.: 8 727 2269410 вн. 124*

Согласовано

13.04.2021 15:37 Токтыбасов Данияр Жагыпарович

13.04.2021 16:38 Кумарбаева Динара Беркутжановна

Подписано

13.04.2021 17:18 Шахнович Александр Юльевич



Данный электронный документ DOC24 ID KZE36W8202110001169CBFAB22 подписан с использованием электронной цифровой подписи и отправлен посредством информационной системы «Казахстанский центр обмена электронными документами» Doculite.kz.

Для проверки электронного документа перейдите по ссылке:
<https://doculite.kz/landing?verify=KZE36W8202110001169CBFAB22>

Тип документа	Исходящий документ
Номер и дата документа	№ ПР-351 от 13.04.2021 г.
Организация/отправитель	АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ"
Получатель (-и)	ИНСТИТУТ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА ИМ. Т.К. БАСЕНОВА
Электронные цифровые подписи документа	 Подписано: Директор центра Время подписи: 13.04.2021 15:37
	 Подписано: Заместитель начальника Время подписи: 13.04.2021 16:38
	 АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ" Подписано: Управляющий директор по развитию и цифровизации ШАХНОВИЧ АЛЕКСАНДР MIPVnwYJ...HYzQQ9w== Время подписи: 13.04.2021 17:18



Данный документ согласно пункту 1 статьи 7 ЗРК от 7 января 2003 года N370-II «Об электронном документе и электронной цифровой подписи», удостоверенный посредством электронной цифровой подписи лица, имеющего полномочия на его подписание, равнозначен подписанному документу на бумажном носителе.

ОТЗЫВ
на инновационную образовательную программу
«BIM-технологии в архитектуре и строительстве»
разработанной к реализации в Институте архитектуры и строительства
им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского
технического университета им. К.И. Сатпаева (Satbayev University)

г. Алматы

20.04.2021 г

Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (Satbayev University) является одним из лидеров в области подготовки современных специалистов для архитектурно-строительной отрасли. Здесь первыми в Казахстане ввели в образовательные программы дисциплины, изучающие BIM-технологии. Логичным продолжением стало создание отдельного направления для обучающихся в магистратуре - образовательной программы «BIM-технологии в архитектуре и строительстве», рассчитанной на 1,5 года (год теоретической подготовки + полгода работы над реальным магистерским проектом).

16.04.2021 специалисты BIM-сектора KAZGOR на онлайн встрече обсудили с представителями вуза образовательную программу с уклоном на BIM технологии. Обсуждение прошло очень активно. Мы дали свои идеи и комментарии относительно программы, которые были учтены преподавателями при составлении плана.

Мы рады, что вуз понимает важность привлечения зарубежных специалистов в области BIM для преподавания..

Мы ценим решение вуза в подготовке BIM кадров, которых очень не хватает на рынке труда.

Программа составлена с учетом компетенций, предложенных Национальной палатой предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен» в рамках профессиональных стандартов по направлениям:

- «Архитектурно-градостроительные работы»;
- «Разработка строительных проектов».

Представлен корректный перечень дисциплин по выбору, что позволяет магистрантом выбрать свою специализацию в проектной практике.

В целом, рецензируемая образовательная программа отвечает требованиям подготовки специалистов для архитектурно-строительной отрасли.

Президент
Проектной Академии «KAZGOR»



А. Татыгулов

ОТЗЫВ
на инновационную образовательную программу
«BIM-технологии в архитектуре и строительстве»
разработанной к реализации в Институте архитектуры и строительства
им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического
университета им. К.И. Сатпаева (Satbayev University)

г. Алматы

«__» _____ 2021г.

Представленная образовательная программа «BIM-технологии в архитектуре и строительстве», является качественно новым и актуальным продуктом, позволяющей включать в себя комплексный подход при подготовке специалистов в области архитектуры, градостроительства, строительства и инженерных систем зданий и сооружений. Программа разработана с целью обеспечить подготовку современных специалистов в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, свободно работающих с информационными моделями проектов с активным применением ТИМСО (BIM). Это отвечает требованиям профессиональных стандартов, предлагаемых Национальной палатой предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен».

В её рамках предполагается подготовка специалистов, обладающих компетенциями, которые указаны в Профессиональных стандартах: «Архитектурно-градостроительные работы» и «Разработка строительных проектов» в карточках следующих профессий: архитектор зданий и сооружений, ландшафтный архитектор, главный конструктор проекта (в строительстве), инженер-проектировщик, инженер-конструктор, специалист по автоматизированным системам, инженер-сметчик, инженер пожарно-охранной сигнализации.

Удобен представленный формат подготовки специалистов: один год теоретического обучения и полгода работы над комплексным магистерским проектом.

Образовательная программа «BIM-технологии в архитектуре и строительстве» учитывает опыт и новейшие тренды в области архитектурно-строительной деятельности. В зависимости от траектории обучения учитываются современные тенденции развития проектного дела в рыночных условиях. Учебный план содержит как общекомпетентностные подходы в подготовке специалиста послевузовской программы, так и специальные профильные дисциплины с активным использованием информационных технологий в сфере архитектурно-дизайнерского и градостроительного проектирования, в сфере конструирования и моделирования конструкций и комплекса инженерных систем зданий, методов их возведения и способов эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла объектов строительства.

Дисциплины учебного плана по рассматриваемой образовательной программе формируют весь необходимый перечень общепрофессиональных и профессиональных

компетенций в BIM-среде информационного проектирования по направлению подготовки BIM-менеджера в архитектуре, градостроительстве, строительстве и инженерных систем. Предлагается большой выбор дисциплин на выбор, что позволит в рамках одной программы вести подготовку сразу нескольких специалистов, нацеленных на решение общих задач.

Включенные в план дисциплины раскрывают сущность актуальных на сегодняшний день проблем, структура плана логична и последовательна. Оценка учебных дисциплин позволяет сделать вывод, что содержание дисциплин соответствует квалификационной и компетентностной модели выпускника, сформированной на основе профессиональных стандартов. Образовательная программа наглядно демонстрирует использование активных и интерактивных форм проведения занятий, включая дискуссии, деловые игры, разбор конкретных ситуаций и предусматривает профессионально-практическую подготовку обучающихся в виде практики, а именно это экспериментально-исследовательская работа и производственная практика магистранта, которые заканчиваются разработкой и защитой комплексным магистерским проектом.

В качестве рекомендации может быть предложено усиление и расширение набора и содержания компетенций в области расчетно-сметной документации.

В целом, рецензируемая образовательная программа отвечает реалиям и основным требованиям профессиональных стандартов «Архитектурно-градостроительные работы» и «Разработка строительных проектов», разработанных Национальной палатой предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен», и может способствовать формированию современных высококвалифицированных и компетентных специалистов, активно внедряющих и повсеместно использующих ТИМСО в архитектурно-строительной сфере.

Директор Ким А.
ТОО «PSI Engineering»



