

Строить ПО-НОВОМУ:

Технологии,
которые меняют
здания и города.



и
Николай Заречин

Николай Заречин

Строить по-новому: Технологии, которые меняют здания и города

<https://litres.ru/74622844>

SelfPub; 2026

Аннотация

Десять недель задержки, смета растёт, а каждый участник уверен, что сделал всё правильно. Почему стройка буксует? Часто дело не в нехватке технологий, а в разрозненных данных, решениях и ответственности.

Книга связывает BIM, ИИ, новые материалы, заводскую сборку, цифровой контроль и энергетику в единую логику проекта. Здесь технологии оцениваются не по эффективности, а по пользе на всём жизненном цикле: снижают ли затраты, повышают ли комфорт и безопасность, помогают ли зданию и городу работать лучше.

Практический ориентир для архитекторов, инженеров, девелоперов и руководителей проектов: как оценивать риски, выбирать решения и внедрять только то, что доказало эффективность.

Книга создана с помощью ИИ. Обложка: GPT Image -
Лицензия

Содержание

Строительная отрасль на пороге перемен: как устроено современное здание и где технологии создают ценность	6
Цифровая основа проекта: BIM, общая среда данных и совместная работа участников	21
Проектирование на данных: алгоритмы, искусственный интеллект и моделирование решений	35
Материалы нового поколения: прочность, низкий углеродный след и адаптивные свойства	49
Конец ознакомительного фрагмента.	54

Николай Заречин
Строить по-новому:
Технологии, которые
меняют здания и города

**Строить по-новому: Технологии, которые меняют
здания и города**

Николай Заречин

Строительная отрасль на пороге перемен: как устроено современное здание и где технологии создают ценность

В переговорной пахло остывшим кофе и мокрыми пальто. На экране — график строительства многофункционального комплекса: первый этаж занимают магазины и кафе, выше расположены офисы и квартиры, под землёй — парковка и инженерные помещения. Открытие сдвинулось на десять недель, смета выросла. Заказчик попросил каждого назвать причину.

— Мы вовремя передали проект, — сказал архитектор. — Но арендаторы меняли требования уже после согласования планировок.

— Мы строим по последней утверждённой документации, — ответил подрядчик. — Только эта документация поступала частями, а часть оборудования заказали слишком поздно.

— В договоре сроки были реалистичными, — заметил заказчик. — Мы не можем каждый раз переписывать бюджет из-за изменений.

Управляющий зданием, которого пригласили на совещание впервые, открыл папку с замечаниями:

— А кто объяснит, как обслуживать клапан, до которого после монтажа нельзя добраться без демонтажа потолка?

Каждый говорил правду. Каждый добросовестно выполнял свою часть. И всё же здание задерживалось, дорожало и уже до открытия обещало стать трудным в эксплуатации.

Проблема была не в одном плохом чертеже или нерадивом исполнителе. Она скрывалась между частями работы — в местах, где одно решение превращается в другое, передаётся от человека к человеку и меняет смысл. Современное здание — это не только стены, колонны и крыша. Это связанная система людей, материалов, энергии, данных и решений, которая должна работать не только на строительной площадке, но и десятилетиями после неё.

Здание строится дважды

Первое здание возникает до того, как на участок привезли бетон. Его строят из требований, расчётов, чертежей, моделей, спецификаций и договорённостей. Второе — из материалов и труда. Между этими двумя зданиями всегда есть разница: площадка приносит неожиданности, поставщики предлагают замену, заказчики меняют планы, а проектные решения сталкиваются друг с другом в пространстве.

Цифровая модель или комплект чертежей — не само здание, а описание того, каким его намерены сделать. Если описание неполно, устарело или непонятно следующему участнику, на площадке начинают строить по памяти, звонкам и версиям файлов с названиями вроде «финалточнопослед-

ний». Так проект начинает строиться дважды: сначала на экране, потом в бетоне — а иногда ещё раз, когда уже готовое приходится переделывать.

Чтобы увидеть, где возникают потери и где технологии могут принести пользу, полезно проследить весь путь здания — от первого вопроса «зачем?» до ремонта, перепланировки и завершения срока службы.

Маршрут здания: от потребности до нового цикла

1. Замысел и выбор участка. Сначала заказчик определяет, какую задачу должно решить здание. Нужны ли городу новые квартиры, рабочие места, медицинский центр, помещения для торговли? Сколько людей будет пользоваться объектом, каким транспортом они приедут, как здание повлияет на район?

На этой стадии определяются площадь, функции, примерный бюджет и сроки. Ошибка в исходном задании может долго оставаться незаметной: проектировщики аккуратно разработают объект, который не подходит будущим пользователям или слишком дорог в содержании. Карты, градостроительные данные, анализ транспорта и предварительные расчёты энергопотребления помогают проверять замысел до того, как он превратится в подробный проект. Но расчёт не заменит ответа на главный вопрос: какую ценность здание должно создавать?

2. Проектирование. Архитектор задаёт пространство и облик, инженеры проектируют конструкции и системы отоп-

ления, вентиляции, водоснабжения, электроснабжения, связи и безопасности. К ним добавляются специалисты по пожарной защите, акустике, доступности для маломобильных людей, ландшафту и другим задачам.

Каждый проектировщик может решить свою задачу правильно, а итог всё равно окажется неудобным. Воздуховод пересечёт балку, трубопровод займёт место будущего кабельного лотка, а оборудование окажется там, где его невозможно отремонтировать. Чем позднее обнаружено такое столкновение, тем больше участников приходится возвращать к уже принятому решению. Изменить линию на модели обычно проще, чем переносить смонтированный воздуховод, переделывать отверстие в конструкции и менять отделку.

Здесь особенно важны не только сами данные, но и момент их согласования. Проектировщикам нужно видеть, что меняют коллеги, и понимать, какая версия документа является действующей. Технология координации помогает обнаружить конфликт, но не решает за участников, кто отвечает за его устранение и когда решение считается утверждённым.

3. Закупки и подготовка строительства. Проектные решения превращаются в тендерную документацию, договоры и заказы поставщикам. Здесь важно, чтобы участники одинаково понимали, что именно требуется купить и установить.

Если характеристики оборудования описаны неполно,

подрядчик может предложить доступную замену, которая формально подходит по отдельным параметрам, но плохо совместима с системой управления или требует других подключений. Если заказ оборудования с долгим сроком производства запланирован поздно, задержка может начаться ещё до выхода бригады на площадку. Электронные закупки и отслеживание поставок полезны, когда они помогают заранее увидеть риск, а не просто быстрее пересылают таблицу с проблемой.

4. Строительство. На площадке проект сталкивается с реальностью: фактическими размерами, погодой, доступностью рабочей силы, очередностью работ и сроками поставок. Цифровые журналы, фотофиксация, лазерное сканирование и системы управления замечаниями могут сделать расхождения видимыми раньше. Например, лазерное сканирование позволяет сопоставить фактически выполненный участок с проектом. Но если результаты измерений не попадают к тем, кто принимает решения, точная информация останется красивым архивом.

Предварительная сборка отдельных узлов вне площадки — префабрикация — может уменьшить объём операций на объекте и сделать качество повторяющихся элементов стабильнее. Однако для этого решения нужно принять заранее: определить размеры, требования к перевозке, места соединений и последовательность монтажа. Нельзя сначала проектировать так, будто каждый элемент будут подгонять вруч-

ную на месте, а потом внезапно ожидать преимуществ заводского изготовления.

5. Пусконаладка и передача. Смонтировать оборудование — ещё не значит получить работающую систему. Вентиляция, отопление, пожарная автоматика, лифты и управление освещением должны взаимодействовать между собой. Пусконаладка — это проверка не только отдельных устройств, но и работы здания в целом: включаются ли нужные режимы, корректно ли реагирует автоматика, получают ли пользователи ожидаемый результат.

На этой стадии заказчику передают инструкции, паспорта оборудования, гарантийные сведения, настройки и графики обслуживания. Если документы разбросаны по папкам, названия узлов расходятся с теми, что видны на месте, а управляющую организацию не пригласили заранее, здание получает формальную передачу вместо рабочего старта.

6. Эксплуатация, изменение и завершение жизненного цикла. После открытия большую часть времени и расходов здание проводит не на стройке, а в использовании. Люди меняют режим работы помещений, арендаторы перестраивают офисы, оборудование изнашивается, а энергетические цены и требования к комфорту меняются. Счётчики, датчики и системы управления помогают понять, что происходит: где перерасходуется энергия, какие зоны регулярно перегреваются, где растёт число отказов.

Но данные сами по себе не экономят тепло и не продле-

вают срок службы оборудования. Нужны сотрудники, которые способны их интерпретировать, и процесс, по которому наблюдение приводит к действию. В конце срока эксплуатации встают новые вопросы: можно ли приспособить здание к другой функции, использовать повторно его материалы или эффективнее заменить часть конструкции?

Эта карта показывает не просто последовательность стадий. Она показывает места передачи ответственности и информации — именно там часто появляются задержки, переделки и будущие эксплуатационные проблемы.

Этап

Ключевое решение

Что нужно передать дальше

Типичная потеря

Замысел и участок

Что строим и для кого

Требования пользователей, ограничения участка, бюджетные допущения

Проект отвечает не на ту потребность

Проектирование

Как связать пространство, конструкции и системы

Согласованные решения, актуальные версии, требования к обслуживанию

Конфликты систем и поздние изменения

Закупки

Что, у кого и когда заказываем

Точные спецификации, сроки поставок, правила согласования замен

Несовместимость и ожидание оборудования

Строительство

Как выполнить проект на площадке

Фактические данные, замечания, подтверждение изменений

Переделки и повторный труд

Пусконаладка и передача

Как доказать, что системы работают вместе

Настройки, инструкции, результаты испытаний, сведения об активах

Долгий запуск и потеря знаний

Эксплуатация

Как поддерживать комфорт, надёжность и стоимость

Показания, заявки, история ремонтов и изменений

Необоснованные расходы и повторение отказов

Модернизация или завершение срока службы

Что сохранить, изменить или повторно использовать
Сведения о состоянии и материалах
Потеря ресурсов и преждевременная замена

Где создаётся ценность

Строительный проект часто оценивают по двум заметным показателям: цене возведения и дате открытия. Но эти показатели не рассказывают всей истории. Дешёвое оборудование может требовать дорогого обслуживания. Экономия на моделировании — обернуться конфликтами на площадке. Решение, ускорившее монтаж, может усложнить ремонт на двадцать лет вперёд.

Полная стоимость здания складывается из первоначальных затрат, расходов на энергию, обслуживание, ремонты и изменений в ходе использования. Поэтому сравнивать варианты стоит не только по цене покупки, но и по тому, сколько они будут стоить и насколько хорошо будут работать на протяжении срока службы. Это и есть взгляд на жизненный цикл.

У здания есть и общественная ценность. Оно влияет на доступность услуг и рабочих мест, безопасность, комфорт, качество городской среды. Кроме того, выбор материалов и инженерных систем важен для климата. По оценкам международных организаций, на здания и строительство приходится примерно треть мирового энергопотребления и связанного с энергией объёма выбросов углекислого газа; точная до-

ля зависит от границ учёта. Поэтому решения о теплоизоляции, источниках энергии, материалах и сроке службы — не декоративные детали проекта.

Технология создаёт ценность, когда помогает улучшить конкретный результат: сократить число переделок, снизить энергопотребление, уменьшить риск травм, быстрее обнаружить отказ или сделать ремонт предсказуемее. Если же цифровой инструмент не связан с решением, которое кто-то должен принять, он может лишь ускорить производство ненужных данных.

Как отличить решение от новинки

Представим, что на совещании заказчику предлагают внедрить датчики, трёхмерную модель, мобильные планшеты и «цифровой двойник». Правильный первый вопрос — не «Насколько это современно?», а «Какую нашу проблему это решит?»

Цифровой двойник обычно понимают как цифровое представление объекта, связанное с актуальными данными о его состоянии и работе. Но трёхмерная модель, созданная во время проектирования и ни разу не обновлённая после строительства, сама по себе двойником не становится. Чтобы цифровая модель помогала эксплуатации, нужно определить, какие сведения действительно нужны управляющей организации, кто их передаёт и кто поддерживает в актуальном состоянии.

Ту же проверку стоит применять к любой технологии. Для

неё необходимы исходные данные, ответственный пользователь и способ измерить результат. В таблице ниже приведены примеры такой диагностики.

Проблема

Затронутая стадия

Нужные данные

Возможная технология или процесс

Как измерить эффект

Инженерные системы сталкиваются на площадке

Проектирование и строительство

Геометрия конструкций и систем, актуальные версии решений

Совместная цифровая модель и регулярная проверка пересечений

Число конфликтов, найденных до монтажа; часы переделок

Рабочие часто ждут материалы

Закупки и строительство

Статусы заказов, критические сроки, график работ

Электронное отслеживание поставок и планирование ограничений

Часы ожидания; доля поставок, прибывших к нужной дате

В здании расходуется больше энергии, чем ожидалось

Эксплуатация

Показания счётчиков, расписания, температура, загрузка помещений

Система управления зданием и анализ режимов

Расход энергии на площадь; число отклонений от заданного режима

Ремонт занимает слишком много времени

Эксплуатация

История отказов, расположение оборудования, запасные части

Цифровой реестр оборудования и система заявок

Среднее время восстановления; повторные отказы

Неясно, какая замена материала экологичнее

Проектирование и закупки

Состав, масса, срок службы и экологические характеристики материалов

Оценка жизненного цикла и сравнение вариантов

Выбросы на заданную функциональную единицу; соответствие требованиям

Важно заранее зафиксировать исходный уровень. Если цель — уменьшить число переделок, сначала нужно договориться, что считается переделкой и как её учитывают. Если

цель — снизить расход энергии, понадобится сопоставлять похожие периоды и учитывать изменения в погоде, расписании и использовании помещений. Без исходной точки легко принять удачное совпадение за результат технологии.

Небольшая практика для читателя

Возьмите любой знакомый вам объект — текущий проект, офис, жилой дом или школу — и выберите одну повторяющуюся проблему. Например, заявки на ремонт долго остаются без ответа.

1. Назовите проблему конкретно. Не «плохая эксплуатация», а «сотрудники не знают, кому сообщить о неисправности вентиляции».

2. Найдите стадию, где возникает причина. Проблема может проявляться при эксплуатации, но начинаться ещё при проектировании, если оборудование не промаркировано или инструкции не переданы.

3. Запишите, каких данных не хватает. Где находится оборудование? Когда оно обслуживалось? Кто отвечает за заявку? Каков обычный срок ремонта?

4. Выберите процесс или технологию. Это может быть простой единый порядок регистрации заявок, а может — цифровой реестр активов. Начинайте с минимального решения, которое закрывает пробел.

5. Определите измеримый результат. Например, время от сообщения до назначения исполнителя или доля повторных заявок по одной и той же неисправности.

Если невозможно назвать ни нужные данные, ни ответственного за действие, ни способ измерить улучшение, внедрение пока не готово. Сначала требуется прояснить процесс.

Смотреть на здание целиком

Вернёмся к совещанию. Подрядчику не хватало своевременно согласованных решений. Архитектору — стабильных требований и обратной связи от тех, кто будет обслуживать здание. Управляющему — сведений о реальном оборудовании и понятного доступа к нему. Заказчику — способа увидеть общую картину, а не только отчёты по отдельным договорам. Ни одна сторона не могла устранить разрыв в одиночку, потому что причина находилась между их участками ответственности.

Поэтому полезно рассматривать здание как систему на всём жизненном цикле. Спрашивать не только «Что мы строим?», но и «Какие данные нужны следующему участнику?», «Кто принимает решение, если планы расходятся с реальностью?» и «Как мы поймём, что здание работает хорошо?»

Технологии не отменяют архитектуру, инженерное мастерство, договорённости и ответственность. Они могут сделать связи между ними заметнее, решения — быстрее, а последствия — измеримее. Но только если сначала найдена настоящая проблема. Иначе здание получит ещё один цифровой слой, а старые разрывы останутся на месте.

В следующей главе мы разберём, как создать цифровую основу, на которой участники проекта смогут обмениваться

согласованными данными, работать с актуальными версиями решений и видеть здание не как набор разрозненных документов, а как общую модель.

Цифровая основа проекта: BIM, общая среда данных и совместная работа участников

В 7:12 утра бригада уже начала делать отверстие в бетонном перекрытии. На распечатке из вагончика была нужная отметка, нужный диаметр воздуховода и штамп «В производство работ». Через несколько минут мастер заметил на экране планшета другую версию модели: отверстие смещено почти на полметра. Ещё через минуту выяснилось, что новая трасса проходит рядом с балкой, а на старом чертеже этого участка вообще нет.

Работу остановили. Сканер показал арматуру у кромки уже начатого отверстия. Чтобы закончить проходку, пришлось бы перерезать стержень. Бригаду отвели, проектировщиков вызвали на площадку, график на этот участок поплыл. Вскоре начался привычный обмен вопросами: кто изменил модель, кто не выдал новый чертёж, почему подрядчик работал по старому файлу и какой документ вообще считать главным?

В этом конфликте не было одного человека, который «всё испортил». У каждого участника имелась своя версия правды. Прораб получил PDF по электронной почте от инженера подрядчика. Инженер видел обновлённую модель, но счи-

тал её предназначенной только для координации. Архитектор успел согласовать изменение планировки, а конструктор ещё не подтвердил новое отверстие в перекрытии. Файлы жили в разных папках, письмах и планшетах. BIM-модель существовала — но управляемой информации не было.

Модель — не чертёж в объёме

BIM часто представляют как трёхмерную модель здания. Это понятное, но неполное представление. Геометрия помогает увидеть, где проходит воздуховод и насколько он близко к балке. Однако ценность цифровой модели не в том, что её можно покрутить на экране. Она возникает, когда геометрия связана с данными об элементах, их характеристиками, версиями, ответственными участниками и решениями, принятыми на разных этапах проекта.

Например, отверстие в перекрытии — это не просто прямоугольник в модели. Для работы важно знать его размеры и координаты, к какой инженерной системе оно относится, кто предложил его расположение, проверено ли влияние на конструкцию, для какого этапа информация пригодна и какой документ разрешает строить по этим данным. Если модель показывает отверстие, но не позволяет отличить согласованное решение от предварительного, она может придать ошибке убедительный трёхмерный вид.

BIM — это способ организовать работу с цифровой информацией о здании. Программное обеспечение создаёт и обрабатывает модели, но само по себе не устанавливает, кто

за что отвечает, как согласуются изменения и какая версия разрешена к использованию на площадке. Модель может быть точной, устаревшей, неполной или созданной для иной задачи. Всё зависит от того, какие сведения в неё заложены и как ими управляют.

Здесь важно разделить три понятия.

ВМ-модель — структурированное представление здания или его части. В нём могут быть геометрия, свойства элементов, связи между ними и сведения об их авторстве или версии.

Информационные требования — договорённость о том, какая информация нужна, кому, к какому сроку, для какого решения и по каким критериям её будут принимать. Заказчику, например, может понадобиться перечень оборудования с параметрами для эксплуатации. Конструктору — сведения о нагрузках и проёмах. Бригаде — утверждённый комплект чертежей и актуальные размеры. Один и тот же элемент не обязан быть одинаково детализирован для всех этих задач.

Общая среда данных, или ОСД, — согласованный способ собирать, проверять, хранить, выдавать и архивировать проектную информацию. Это может быть специализированная платформа, настроенное хранилище или комбинация инструментов. Но сама по себе подписка на облачный сервис ОСД не создаёт. Она появляется лишь вместе с правилами работы, ответственными и контролем версий.

Иными словами, модель отвечает на вопрос «что мы проектируем», информационные требования — «какие сведения нужны и для чего», а общая среда данных — «как участники безопасно и согласованно с этими сведениями работают».

Как остановить «версии правды»

Вернёмся к отверстию. Архитектор Елена изменила планировку, чтобы освободить место для инженерного стояка. Инженер по вентиляции Тимур перестроил трассу и перенёс отверстие. Конструктор Антон обнаружил, что новое положение близко к балке, и попросил уточнить решение. Подрядчик получил старую PDF-распечатку, по которой раньше уже выполнялись аналогичные работы. Каждый действовал в рамках доступной ему информации — но проект не определил, как эта информация должна проходить путь от предложения до разрешения на строительство.

Команда начала не с выбора «самой правильной программы», а с простого вопроса: кто отвечает за каждый тип данных и кто имеет право выпускать его для конкретной цели?

Для каждого важного результата нужен человек, который готовит информацию, человек или роль, проверяющие её, и назначенный участник, который утверждает её для использования. Эти роли иногда выполняют одни и те же люди, но ответственность всё равно должна быть названа явно. Полезно применять логику RACI: **R** — выполняет работу, **A** — несёт итоговую ответственность и принимает результат, **C** —

консультирует, **I** — получает информацию. Для каждого результата важно назначить одного ответственного за итоговое решение, а не оставлять его «всей команде сразу».

Информация или документ

Готовит

Проверяет

Утверждает для указанной цели

Используют

Предложение по трассе вентиляции и проёму

Инженер по вентиляции

ВМ-координатор проверяет координацию

Главный инженер проекта

Конструктор, архитектор, подрядчик

Решение о влиянии проёма на конструкцию

Конструктор

Назначенный специалист конструктивного раздела

Ответственный за конструктивные решения

Инженер по вентиляции, строительная площадка

Сводный координационный комплект

ВМ-координатор

Руководители соответствующих разделов

Руководитель проекта — для координации

Проектная команда

Комплект чертежей для выполнения работ

Ответственный проектировщик раздела

Назначенный проверяющий

Уполномоченный выпускающий специалист

Подрядчик и площадка

Такая таблица не заменяет договор и не решает сложные вопросы полномочий. Её задача — убрать опасную неопределённость. Координационный комплект может быть согласован для обсуждения, но ещё не разрешён к строительству. Это разные назначения, и их нельзя смешивать под общим словом «готово».

Статусы: путь от черновика к площадке

В общей среде данных участники договорились использовать четыре состояния информации. Названия и коды могут различаться в разных системах и проектах; важно, чтобы все одинаково понимали их смысл.

Статус

Что означает

Можно ли использовать на площадке

В работе

Материал создаётся или проверяется автором; это ещё не

согласованный результат

Нет

На согласовании / для координации

Информация доступна другим участникам для проверки и замечаний

Только для согласования, не для выполнения работ

Утверждено / опубликовано для цели

Результат прошёл назначенные проверки и выпущен для конкретного применения

Да, если назначение включает выполнение работ

Архив

Предыдущая или заменённая версия сохранена для истории и аудита

Нет

У статуса должно быть не только название, но и значение: кто может его присвоить, какие проверки обязаны быть завершены, кто получит уведомление и что произойдёт с предыдущей версией. Загрузка файла в папку не является утверждением. Надпись на чертеже также не должна спорить со статусом в среде данных. Если система говорит «для координации», а в штампе стоит «в производство работ», противоречие нужно устранить до выпуска.

Важно и то, что «опубликовано» не означает «верно навсегда». Оно означает: конкретная версия проверена и выпущена для указанной цели на данный момент. Позже она может быть заменена, но её история должна сохраниться. Поэтому правильнее говорить не об одном волшебном «последнем файле», а о контролируемом наборе действующих документов и моделей.

Рабочий маршрут для изменения

Команда превратила случай с отверстием в короткий регламент. Он не устранял необходимость думать, зато не позволял важным решениям теряться между письмом и площадкой.

1. Зафиксировать запрос. Участник создаёт запись об изменении: что требуется, почему, где находится объект и к какому сроку нужен ответ. В нашем случае запрос содержал номер помещения, отметку перекрытия, размеры воздуховода и фотографию места.

2. Назначить ответственных. Руководитель проекта определяет автора предложения, проверяющих по затрагиваемым разделам и лицо, которое может утвердить результат. Если изменение влияет на конструкцию, согласование конструктора обязательно, а не оставлено на усмотрение координатора модели.

3. Подготовить новую версию. Автор вносит изменение в рабочую модель и указывает, что именно изменилось. Предварительная модель остаётся в статусе работы или ко-

ординации. Её нельзя автоматически считать разрешением для строительной бригады.

4. Проверить качество и согласованность. BIM-координатор проверяет геометрию, местоположение, идентификаторы элементов и наличие обязательных данных. Ответственные специалисты оценивают решения в своей области: например, конструктивную безопасность, доступ для монтажа и эксплуатационный доступ.

5. Принять или вернуть с замечаниями. Решение фиксируется вместе с ответственным, датой и комментариями. Замечание должно относиться к конкретному элементу или месту, а не звучать как «проверьте модель ещё раз».

6. Выпустить информацию для конкретной цели. Уполномоченный участник меняет статус и публикует утверждённый комплект. В карточке выпуска указано, для чего он предназначен: координация, закупка, монтаж или иной этап.

7. Уведомить пользователей и закрыть старую версию. Подрядчик получает сообщение о новом выпуске, а заменённый документ перемещается в архив или помечается как недействующий. На площадке проверяют не дату файла на компьютере, а номер выпуска и его назначение.

8. Подтвердить получение на площадке. Ответственный со стороны подрядчика подтверждает, что действующий комплект доступен исполнителям. Бумажная копия при необходимости маркируется номером выпуска и местом хранения; порядок замены распечаток тоже заранее оговарива-

ется.

Для именования файлов команда выбрала короткую структуру: код проекта, дисциплина, зона, этаж, тип документа, номер и ревизия. Например: KOR-MEP-Z02-L03-DR-012-R06.pdf. Одного имени файла недостаточно: статус, назначение, автор, дата и связь с заменённым выпуском должны храниться в управляемых данных среды. Иначе коды быстро превращаются в длинные загадки, а люди всё равно спрашивают в чате: «Какой из этих файлов новый?»

Совместимость — это не только расширение файла

Проектные участники нередко работают в разных программах. Архитектору удобен один формат, инженеру — другой, подрядчику — третий. Обменные форматы помогают передавать сведения между системами: например, IFC используют для обмена моделями, а BCF — для передачи замечаний и их привязки к элементам или местам. PDF остаётся полезным для выпуска чертежей и работы на площадке.

Но открытый формат не гарантирует, что при передаче сохранится вся информация. Свойства элементов могут преобразоваться не так, как ожидалось; часть параметров конкретной программы может не перейти; координаты, единицы измерения или классификаторы могут отличаться. Поэтому команда проверяет не наличие файла с нужным расширением, а пригодность результата: открывается ли модель, совпадают ли координаты, сохранились ли критичные атрибуты, можно ли найти нужные объекты и сопоставить версии.

Перед массовым обменом полезно провести пробный цикл на небольшом участке: экспортировать модель, открыть её в другой системе, проверить ключевые элементы, вернуть замечания и убедиться, что идентификаторы не потерялись. Важно также договориться о базовой точке проекта, системе координат, единицах, правилах именования и классификации. Несовпадение координат способно сделать визуально аккуратную модель практически бесполезной.

Не вся информация должна находиться в одном файле. Архитектурная, конструктивная и инженерные модели могут оставаться отдельными, а для проверки собираться в сводную модель. Это позволяет специалистам работать привычными инструментами и одновременно видеть пересечения. Однако сводная модель тоже должна сопровождаться сведениями о версиях исходных частей: иначе непонятно, какие именно решения сравниваются.

Данные не становятся качественными от слова BIM

Ошибку можно внести на любом этапе. Если исходные обмеры неточны, цифровая модель аккуратно воспроизведёт неточность. Если координаты не согласованы, элементы разных разделов разойдутся. Если инженер не заполнил обязательное свойство, компьютер не сможет достоверно использовать его в проверке. Автоматизация помогает находить некоторые несоответствия, но не знает, правильно ли выбрана проектная предпосылка, если эта предпосылка ни-

где не зафиксирована.

Для важной информации нужны критерии приёмки. Это могут быть не только требования «модель предоставлена», но и конкретные проверки: заполнены ли обязательные поля, соответствует ли геометрия установленной системе координат, указаны ли автор и ревизия, сопоставлены ли отверстия с инженерными системами, приложены ли нужные согласования. Проверки выбирают под задачу. Не каждую трубу следует моделировать с одинаковой детализацией, и не каждый элемент нуждается в данных, которые никто не будет использовать.

Препятствия часто оказываются организационными. Проектировщик опасается, что передача модели означает передачу ответственности за чужой раздел. Подрядчик не хочет работать в сложной системе, если на площадке слабая связь или интерфейс требует долгого обучения. Руководитель видит в новых процедурах дополнительную бумажную нагрузку. Эти опасения нельзя устранить лозунгом о цифровизации. Нужно заранее определить границы ответственности, обеспечить доступ к нужным документам, обучить пользователей и сделать маршрут согласования короче, чем обходные пути через личную почту.

При этом важен не только контроль, но и ритм взаимодействия. Короткие регулярные координационные встречи, реестр открытых вопросов, единый способ привязать замечание к модели и сроки ответа часто полезнее, чем редкие

совещания с десятками слайдов. Цифровой процесс должен помогать участникам быстрее принимать решения, а не просто производить больше отчётов.

Проверка, которую можно провести на своём проекте

Выберите один элемент с несколькими участниками — например, отверстие в перекрытии, люк, участок фасада или место установки оборудования — и проследите его путь от запроса до выполнения работ. Ответьте письменно на шесть вопросов:

1. Кто создал исходную информацию?
2. Какие данные нужны, чтобы принять решение?
3. Кто проверил влияние на соседние разделы?
4. В какой системе хранится действующая версия?
5. Кто и каким действием разрешил использовать её для работ?
6. Как исполнитель на площадке может отличить этот выпуск от устаревшего?

Если хотя бы на один вопрос нет ясного ответа, у проекта есть не только цифровой, но и управленческий пробел. Его можно закрыть простой таблицей ролей, ясными статусами и понятным порядком уведомлений — ещё до покупки нового программного обеспечения.

После настройки процесса команда вернулась к проёму. Инженер по вентиляции подготовил новое решение, конструктор проверил влияние на перекрытие, а координатор

связал выпуск с конкретной версией модели и чертежа. Подрядчик увидел статус и номер ревизии на площадке. Старый PDF сохранили в архиве, но исключили из текущего комплекта. Вопрос не исчез бесследно: его запись показывала, кто предложил изменение, кто проверил, когда решение утвердили и какой документ получил мастер.

Это и есть практическая ценность цифровой основы проекта: не обещание, что ошибок больше не будет, а возможность вовремя увидеть разрыв между версиями, понять его происхождение и не превращать неопределённость в бетон. Как и любая технология, BIM приносит пользу не своей новизной, а тем, насколько надёжно помогает проектировать, строить и в дальнейшем эксплуатировать здание. Прежде чем передавать машинам больше расчётов и поиска вариантов, нужно научиться передавать им качественные, понятные и прослеживаемые данные.

Проектирование на данных: алгоритмы, искусственный интеллект и моделирование решений

Во вторник утром заказчик положил на стол распечатку плана и сказал: «Нам нужно на десять процентов больше полезной площади. Освещённость не ухудшать. Бюджет не увеличивать».

На плане был офисный центр, который команда проектировала уже несколько месяцев. Архитектор сразу увидел несколько ходов: подвинуть ядро с лифтами, ужать коридоры, глубже втянуть рабочие места в здание, добавить стекла, устроить световой двор. Каждый ход обещал выигрыш — и каждый что-то отнимал. Узкий коридор мог осложнить эвакуацию. Глубокий план — оставить дальние рабочие места в полумраке. Больше стекла — прибавить стоимость фасада, риск бликов и перегрева.

Раньше команда выбрала бы один-два варианта, начертила их и только потом обнаружила, где расчёт не сходится. Теперь у неё был другой инструмент: не волшебная кнопка «спроектировать хорошо», а модель, способная быстро исследовать множество вариантов. Её работа — не заменить

замысел, а показать, какие решения вообще заслуживают внимания.

Сначала — определить, что значит «хорошо»

Алгоритм не понимает выражений «просторно», «светло» и «в рамках бюджета». Чтобы он мог сравнивать решения, команда должна перевести пожелания в проверяемые цели.

«Увеличить полезную площадь» — на сколько и по какому правилу её измеряют? «Не ухудшить освещённость» — для каких помещений, в какое время года и по какому показателю? «Не увеличить бюджет» — речь о стоимости строительства, эксплуатации или всего жизненного цикла? А цены на материалы зафиксированы или это сегодняшняя смета, которая изменится к моменту закупки?

В нашем примере заказчик уточнил требования. Нужно увеличить полезную площадь здания с 9 000 до 9 900 квадратных метров. Показатель дневного света в регулярно занятых помещениях должен быть не ниже исходного. Предварительная стоимость строительства не должна превышать базовую смету более чем на три процента.

Это ещё не полное техническое задание, но уже задача, которую можно исследовать. Команда выделила три типа условий:

- **Цель:** получить не менее 9 900 м² полезной площади.
- **Жёсткие ограничения:** не превышать бюджетный предел, соблюдать требования по эвакуации, доступности, конструкциям и инженерным системам.

● **Критерии сравнения:** дневной свет, воплощённый углерод, удобство эксплуатации и запас надёжности по стоимости.

Различие принципиально. Если сделать все критерии просто числами в одной формуле, достаточно высокая площадь может «компенсировать» нарушение эвакуации. Но так проектировать нельзя. Сначала отсеивают решения, которые нарушают обязательные условия; затем сравнивают оставшиеся.

Параметрическая модель — не один план, а семейство планов

Команда собрала цифровую модель из параметров, которыми можно управлять: положение и размер лифтового ядра, ширина коридоров в допустимых пределах, шаг конструктивной сетки, глубина помещений, расположение перегородок и световых проёмов. У каждого параметра был диапазон, а не произвольное значение. Например, коридор нельзя было сужать ниже установленного проектом минимума, а сетка колонн должна была согласовываться с конструкцией и парковкой.

Модель перестраивала геометрию при изменении параметров и передавала её расчётным инструментам. Те оценивали площадь, ориентировочную стоимость, количество материалов, дневной свет и некоторые эксплуатационные характеристики. За несколько циклов команда могла проверить сотни комбинаций — и увидеть решения, до которых в

ручном переборе, возможно, не дошла бы.

Но скорость расчёта не делает исходные данные правильными. Для анализа дневного света нужны сведения об ориентации здания, соседней застройке, климате и характеристиках окон. Освещённость зависит не только от площади остекления: важны глубина помещения, высота окон, затенение, пропускание света стеклом и состояние неба в течение года. Увеличить окно — не то же самое, что сделать помещение равномерно светлым: можно получить блики у фасада, перегрев летом и всё ещё недостаток света в глубине.

Поэтому команда сначала проверила геометрию участка, привязку соседних зданий и параметры фасада. Для сравнения дневного света выбрали один климатически обусловленный показатель: долю регулярно занятых помещений, достигающих согласованного проектного уровня естественного освещения. Это внутренний критерий данного примера, а не универсальная норма для любого здания. В другом проекте понадобятся другие показатели и нормативные проверки.

Матрица: варианты вместо спора вкусов

После первичного отбора программа выдала десятки решений. Команда свела наиболее показательные в матрицу. Все числа ниже условны: это демонстрационный пример, а не готовая смета или рекомендация для реального объекта. Индексы стоимости и воплощённого углерода рассчитаны относительно исходного решения, принятого за 100. Показатель дневного света относится к площади регулярно за-

нятых помещений, достигших заданного проектного уровня.

Вариант

Полезная площадь, м²

Стоимость, индекс

Воплощённый углерод, индекс

Помещения, проходящие критерий дневного света

Эксплуатационные ограничения

Исходный проект

9 000

100

100

74%

Базовые требования выполняются

Перенос ядра и упорядочение коридоров

9 700

101

99

74%

Нужно проверить маршруты эвакуации

Компактное ядро и рациональная сетка

9 900

102

101

74%

Требуется контроль бюджета на следующих стадиях

Увеличение глубины плана

10 400

101

98

62%

Не проходит по дневному свету

Частичная надстройка внутри объёма

10 000

108

112

72%

Не проходит по бюджету и требует перепроверки эвакуации

Световой двор

9 950

105

106

78%

Улучшает освещение, но превышает бюджетный предел

Первая ловушка — принять наибольшую площадь за победу. Вариант с увеличенной глубиной плана даёт впечатляющий прирост, но ухудшает дневной свет. Световой двор помогает помещениям, однако стоимость выходит за установленное ограничение. Компактное ядро и рациональная сетка выполняют задание, но почти не оставляют запаса относительно бюджетного предела.

И вторая ловушка — решить, будто таблица сама выбрала ответ. Она лишь делает конфликт критериев видимым. Для заказчика важен ли запас по стоимости? Готов ли он пожертвовать частью площади ради меньшего углеродного следа? Может ли эксплуатационная команда обслуживать фасад со световым двором без дополнительных затрат? Эти вопросы нельзя снять одним вычислением.

В многокритериальной оптимизации часто используют понятие **границы Парето**. Если одно решение нельзя улучшить по одному критерию, не ухудшив хотя бы один другой, оно может оказаться на этой границе. Это не означает, что оно лучше всех. Это означает, что у него нет очевидного конкурента, превосходящего его сразу по всем выбранным показателям. Дальше требуется профессиональный выбор — с ясным пониманием того, чем именно приходится платить за каждый выигрыш.

Можно объединить показатели в одну формулу, назначив им веса: например, площадь важнее стоимости, а стоимость важнее углеродного следа. Но веса легко прячут ценност-

ные решения под видом математики. Если балл по площади разрешает компенсировать провал по эвакуации, формула устроена неправильно. Если вес стоимости выбрали потому, что так удобнее получить желаемый вариант, расчёт стал декорацией для заранее принятого решения. Поэтому сначала задают обязательные пороги, а уже потом сравнивают допустимые варианты по целям и приоритетам.

Где именно в проекте нужен искусственный интеллект

Под общим словом «ИИ» часто смешивают три разные функции.

Генерация предложения — создание геометрии или планировочной идеи. Система может комбинировать заданные параметры, размещать помещения, предлагать варианты фасада. Она расширяет поиск, но не понимает автоматически, какое предложение удобно людям и допустимо нормативами.

Прогноз — оценка вероятного результата. Модель, обученная на данных прошлых проектов, может быстро предсказать ориентировочную стоимость или ожидаемый показатель освещённости. Это полезно, когда полноценный расчёт дорог или медленен. Но прогноз зависит от того, насколько новые условия похожи на обучающие примеры. Система, обученная на проектах одной страны и периода, может ошибаться на другом рынке, в другом климате или при необычной геометрии.

Инженерная проверка — расчёт и экспертная оценка с применением подходящих методов, исходных данных и нормативных требований. Предсказание модели может помочь понять, какой вариант стоит проверять подробнее, но само по себе не становится проверкой безопасности, соответствия нормам или качества конструкции.

Языковая модель, к примеру, способна сформулировать список возможных планировочных приёмов или помочь разобрать большое число замечаний к проекту. Но связное объяснение не доказывает, что геометрия корректна. Модель может уверенно предложить решение, которое конфликтует с шахтой, противопожарным отсеком или реальным контуром участка. Полезность ИИ здесь определяется не красотой ответа, а тем, встроен ли он в проверяемый процесс.

Данные имеют происхождение и характер

Даже точный алгоритм не исправит плохие исходные сведения. Команда фиксирует не только значение параметра, но и его источник, дату, единицы измерения и степень надёжности. Стоимость может быть взята из актуальных коммерческих предложений, из старой сметы или из усреднённой базы. У каждого источника — свой смысл и своя погрешность. Сведения о стекле должны соответствовать выбранному продукту, а не «похожему» материалу из каталога.

Важно учитывать и смещение данных. Если база прошлых проектов содержит в основном здания с одинаковой ориентацией, типовым фасадом и привычным бюджетом, модель

может хуже оценивать непривычные решения. Не потому, что необычное решение непременно плохое, а потому, что в обучающей выборке для него мало примеров. Точно так же прошлые решения могут воспроизводить прежние ограничения и привычки рынка: система не обязана обнаруживать их несправедливость или неуместность сама.

Поэтому у каждого расчёта должен быть свой «паспорт»: версия геометрии, использованные наборы данных, принятые допущения, диапазоны параметров и версия расчётного инструмента. Если изменилось соседнее здание, цена фасада или климатический файл, это должно быть заметно. Иначе два участника проекта будут сравнивать числа, за которыми стоят разные условия.

Проверять не только вариант, но и уверенность в нём

В нашем примере решение с компактным ядром формально проходит по площади, бюджету и дневному свету. Но бюджетный запас невелик. Значит, следует задать следующий вопрос: что произойдёт, если стоимость ключевых материалов окажется выше ожидаемой? А если затенение соседним зданием рассчитано неточно? Если планировка изменится после согласования инженерных систем?

Команда проводит анализ чувствительности: поочерёдно меняет существенные исходные допущения и смотрит, меняется ли ранжирование вариантов. Если небольшой сдвиг цены превращает выбранное решение в недопустимое, перед

нами не устойчивый победитель, а пограничный вариант. Если положение ядра меняется на метр и дневной свет резко ухудшается, модель требует более тщательной проверки. Полезно сравнивать не только средние оценки, но и диапазоны возможных результатов.

Здесь важна умеренность: модель не должна обещать точность, которой нет у исходных данных. Предварительная оценка стоимости — это диапазон, а не обещание подрядчика. Цифра по углеродному следу зависит от границ расчёта и качества данных о материалах. Если разные варианты сравнивают, границы должны быть одинаковыми: например, одинаково учитывать конструкцию, фасад и отделку. Иначе можно получить впечатляющий, но нечестный рейтинг.

Протокол ответственного применения алгоритмов

Для команды полезен простой порядок работы.

1. Сформулировать цель. Указать, что именно нужно изменить и как измеряется успех. Уточнить, как считается полезная площадь и какой показатель дневного света принят.

2. Разделить ограничения и предпочтения. Нормативы, доступность, эвакуацию и предел бюджета не следует смешивать с критериями, по которым допустим компромисс.

3. Подготовить данные. Проверить геометрию, климат, соседнее затенение, стоимости, свойства материалов и версии документов. Зафиксировать источники, дату и неопре-

делённость.

4. Выбрать управляемые параметры. Оставить алгоритму исследовать те переменные, которые действительно можно менять: положение ядра, сетку, глубину помещений, планировочные модули.

5. Создать и отсеять варианты. Использовать параметрическое моделирование и алгоритмы поиска, но сразу исключать решения, нарушающие жёсткие ограничения.

6. Проверить чувствительность. Изменить ключевые допущения, оценить диапазоны стоимости и показателей, проверить, сохраняется ли преимущество выбранного решения.

7. Провести экспертную проверку и записать основания выбора. Архитекторы, инженеры, специалисты по сметам и эксплуатации должны понимать, что сравнивалось, почему выбран именно этот вариант и какие риски остались.

Этот порядок помогает сохранить и авторство, и ответственность. Алгоритм может предложить форму, которую никто не нарисовал бы вручную. Но профессионал должен понять, как она устроена, на каких данных держится расчёт и что случится с зданием после сдачи. Автоматизация поиска не переносит ответственность на программу.

Упражнение: задайте алгоритму задачу

Возьмите знакомое пространство: квартиру, небольшое кафе, офисный этаж. Запишите один измеримый результат, который хотите улучшить, — например, увеличить площадь

общего пространства. Затем определите два жёстких ограничения и три критерия сравнения. Не забудьте назвать источник каждого исходного числа.

Придумайте три варианта, даже если пока только словами. Оцените, какие данные нужны, чтобы проверить каждый из них: геометрия, освещённость, стоимость, доступность, эксплуатация. Затем измените одно допущение — например, стоимость остекления или уровень затенения — и посмотрите, может ли поменяться ваш выбор. Если меняется, решение зависит от этого допущения; его нужно проверить раньше остальных. Если нет, вы нашли более устойчивый ориентир.

Не лучший вариант вообще, а обоснованный вариант для этой задачи

В начале встречи заказчик просил больше площади, не хуже свет и без увеличения бюджета. К концу у команды было не одно красивое обещание, а карта пространства решений: варианты, которые проходят обязательные условия; варианты, которые проваливаются; и те, что заслуживают дополнительной проверки. Именно в этом сила проектирования на данных. Оно не отменяет замысел — оно делает последствия замысла видимыми раньше, чем они станут дорогими.

Алгоритм умеет искать, сравнивать и прогнозировать. Но только люди способны договориться, что считать ценностью, какие компромиссы допустимы и какой риск готов принять заказчик. Для этого нужны прозрачные критерии, качествен-

ные данные и профессиональная проверка. А когда команда определит, какая геометрия действительно работает, следующий вопрос станет неизбежным: из чего её построить — и можно ли сделать это прочнее, легче и с меньшим углеродным следом.

Материалы нового поколения: прочность, низкий углеродный след и адаптивные свойства

В переговорной стоял бетонный цилиндр размером с большую кружку. На боку — дата заливки, номер партии и аккуратная наклейка лаборатории. Заказчик взял образец в руку, повертел и спросил:

— Он действительно прочный?

Проектировщица Елена ответила, что образец выдержал испытание на сжатие. Инженер-конструктор добавил, что этого недостаточно, чтобы выпустить по нему рабочую документацию. А представитель завода-производителя открыл презентацию и напомнил: новая смесь сокращает углеродный след примерно на треть.

За окном лежал снег. На месте будущей городской библиотеки ещё только начинали земляные работы, а команде предстояло решить, можно ли заменить привычный бетон низкоуглеродным аналогом. Заказчик Павел Сергеевич сформулировал сомнение проще любой технической записки:

— Если он такой хороший, почему мы не используем его повсюду?

Вопрос был справедливым. И ответ на него нельзя было

напечатать крупным шрифтом на рекламном буклете.

Материал редко проваливает проект в одиночку. Чаще подводит разрыв между обещанием и применением: смесь отлично ведёт себя в лаборатории, но плохо переносит зимнюю укладку; древесная панель обладает высокой прочностью, но в узле удерживает влагу; вторичное сырьё выглядит экологичным, пока его не приходится везти за сотни километров. У каждого материала есть биография — от добычи компонентов до того, что останется после демонтажа здания. Чтобы выбрать разумно, нужно прочитать её целиком.

Не образец, а функция

Библиотека была трёхэтажной. В первоначальном проекте — железобетонный каркас, плиты перекрытий, кирпичное заполнение и деревянные элементы кровли. Елена предложила применить бетон с уменьшенной долей клинкера в связующем. Производитель использовал комбинацию минеральных компонентов, частично заменявших традиционную цементную составляющую. Это могло снизить воздействие производства на климат, но конкретный эффект зависел от состава, сырья и технологии завода.

— Мы не предлагаем строить «экологичнее вообще», — сказала Елена на совещании. — Мы хотим проверить один конкретный состав для плит перекрытия.

— А если он наберёт прочность позже? — спросил Павел Сергеевич. — У нас график, подрядчик и зимний сезон.

Инженер-конструктор Марк кивнул:

— Вот это уже правильный вопрос. Прочность образца на сжатие — только одна характеристика. Нам нужна плита, которая выдерживает расчётные нагрузки, не прогибается сверх допустимого, не растрескивается недопустимым образом и соответствует требованиям по огнестойкости. А ещё бетон должен приехать на площадку с нужной подвижностью, пройти через насос, заполнить опалубку и нормально затвердеть в реальных условиях.

Кубик или цилиндр испытывают в определённом возрасте и при заданных условиях. Здание не живёт в лабораторной камере. В нём есть арматура, швы, опоры, вода, перепады температуры, строительные допуски и люди, которым нужно снять опалубку в срок. Поэтому полезно различать четыре уровня проверки:

- 1. Материал.** Каковы прочность, усадка, ползучесть, теплопроводность, влагостойкость и другие важные свойства?
- 2. Элемент.** Как ведут себя плита, колонна, панель или узел при расчётной нагрузке?
- 3. Сборка.** Работают ли вместе материал, арматура, соединения, герметики, утеплитель и отделка?
- 4. Здание.** Как система выдержит климат, эксплуатацию, ремонт и возможную смену назначения?

Хороший результат на первом уровне — начало разговора, а не его окончание.

Что именно сравнивать

Производитель принёс экологическую декларацию про-

дукта — EPD. В ней указывались выбросы парниковых газов, связанные с производством смеси. Но первая версия презентации сравнивала новый бетон с «обычным бетоном», не уточняя, совпадают ли их класс прочности, состав и границы расчёта.

— Цифра меньше, значит, материал лучше? — спросил заказчик.

— Значит, в заданной границе расчёта воздействие меньше, — ответил Марк. — Это не одно и то же.

EPD — не знак экологической безупречности и не сертификат пригодности для конструкции. Это стандартизированное заявление о воздействии продукта, подготовленное по определённым правилам и, как правило, проверенное независимой стороной. Чтобы сравнение было честным, нужно выяснить, одинаковы ли правила категории продукта, география и период данных, а также какие этапы включены.

Часто в декларации видны этапы **A1–A3**: добыча и подготовка сырья, транспорт до производства и изготовление продукта. Но для здания важны также перевозка на площадку, строительство, обслуживание, ремонт, замена и конец срока службы. Выбросы от доставки и монтажа могут быть отражены отдельно; воздействия при эксплуатации и утилизации требуют своих сценариев. Потенциал повторного использования или переработки нередко показывают отдельно, и его не следует автоматически вычитать из начальных выбросов: будущий спрос на вторичный материал ещё нужно обеспе-

ЧИТЬ.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.