

Обоснование эффективности разработки игровых локаций с помощью процедурной генерации

В. Б. Головкина, М. А. Бобров

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Россия

Аннотация. Популярность компьютерных игровых продуктов обусловлена возможностью погружать пользователя в виртуальный игровой мир, воплощая эффект полного присутствия. Важнейшим элементом большинства компьютерных игр являются трехмерные локации. Возрастающие требования к визуальной составляющей оказывают непосредственное влияние на разработку игрового места, приводящее к увеличению времени и человеческих ресурсов, а следовательно, стоимости готового продукта. Решением проблемы является использование процедурно генерируемой составляющей, позволяющей создавать детализированные виртуальные миры без необходимости ручной разработки каждого элемента, затрачивая основной промежуток времени на разработку условий и функций генерации. В итоге возможность изменения процедурных объектов в реальном времени влияет на сокращение человеческих и временных ресурсов

Ключевые слова: ИТ-технологии, локация, цифровая модель, текстура, процедурная генерация, нодовая система, Side FX Houdini, Blender 3D.

Justification of the effectiveness of developing game locations using procedural generation

V. B. Golovkina, M. A. Bobrov

National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

Abstract. The popularity of computer game products is due to the ability to immerse the user in a virtual game world, creating a full-presence effect. The most important element of most computer games is the 3D location. The increasing requirements for the visual component have a direct impact on the development of the game environment, leading to an increase in time and human resources, and consequently, the cost of the finished product. The solution to this problem is the use of a procedurally generated component, which allows for the creation of detailed virtual worlds without the need for manual development of each element, focusing instead on the development of generation conditions and functions. As a result, the ability to change procedural objects in real time reduces human and time resources.

Keywords: IT technologies, location, digital model, texture, simulations, procedural generation, node system, Side FX Houdini, Blender 3D.

Введение

В связи с развитием цифровых программных инструментов область 3D-графики в игровой индустрии постоянно эволюционирует. Согласно отчету «Newzoo», в 2023 году мировой рынок компьютерных игровых продуктов достиг объема в 200 миллиардов долларов. Рост популярности игровых прямых эфиров на интернет-сервисах и сервисах киберспорта привлекает новых потребителей и способствует развитию игрового сообщества. В отчете компании DFC Intelligence отмечается, что сегодня в мире насчитывается более 3,7 миллиарда пользователей компьютерных игровых продуктов [1].

В региональном разрезе самым крупным рынком остается Азиатско-Тихоокеанский регион. Основными странами, развивающими гейм-индустрию, являются Китай и Япония. На втором месте находится Северная Америка, где основным участником рынка выступает США. В свою очередь, Восточная Европа относится к слаборазвитым компьютерным игровым рынкам [2].

Что касается Российской Федерации, то процесс создания компьютерных игр, успешно преодолевая возникающие трудности, демонстрирует устойчивый подъем. На фоне поддержки ИТ-отрасли государством отечественные разработки постепенно заменяют ушедшие с рынка программы, а крупные игроки объединяются в ассоциации для поддержания отрасли [3].

Важнейшим элементом компьютерной игры является игровая локация, занимающая основную часть экрана, которую пользователь видит большую часть игрового времени и благодаря чему передается визуальный стиль и атмосфера продукта [4, 5].

Игровая локация – это определенная местность, в которой проходят разные этапы игры. Во время создания игрового мира для простоты разработки его делят на несколько локаций – определенных зон, в которых будут разворачиваться игровые события. В то же время каждая локация представляет собой изолированный участок игрового мира [6].

Современные игровые пространства отличаются достаточно высоким качеством проработки деталей и достоверностью фона, будь то морское дно, улица города, заснеженная горная вершина или тайная пещера. В то же время авторы публикации [7] отмечают проблемы, касающиеся реалистичности локаций, например рельефа местности, природных элементов, интеграции различных объектов и пр. Здесь же возникают вопросы обеспечения высокой производительности при использовании сложной графики и значительной детализации. С одной стороны, современные компьютеры становятся все мощнее, с другой – возрастают требования к качеству графики и производительности игр.

Определенную техническую сложность с затратой дополнительного времени и усилий представляет инвариантность локаций, что непосредственно влияет на повышение стоимости разработки.

В данной работе предпринята попытка выявить преимущества использования процедурной генерации на примере создания локации в жанре «стратегия».

Постановка задачи

Процедурная генерация контента (Procedural Content Generation) в игровой индустрии не является новым явлением [8, 9]. Её применение способствует сокращению времени на создание продукта, так как основной промежуток затрачивается на разработку условий и функций генерации. В итоге возможность изменения процедурных объектов в реальном времени влияет на сокращение ресурсов и исключает необходимость создания элементов с нуля или трудоемкого изменения существующих.

Гипотеза позволяет утверждать, что применение процедурной генерации на примере создания игровой локации промышленной зоны в жанре «стратегия» способствует оптимизации процесса разработки и существенно влияет на сокращение времени по сравнению с традиционным методом, что положительно оказывается на финансовых затратах.

Теория

Упрощенно существует два типа игровых локаций: экстерьерные, открытые пространства, такие как поле, лес, город, пляжи, и интерьерные, в качестве которых могут выступать комнаты и коридоры зданий, пещеры, тоннели метро [6].

С учетом разнообразия игровых продуктов трехмерные игровые локации создаются под тип игровых миров, имеющих подразделения: открытые миры, как в данной работе, полуоткрытые и линейные [10].

Бриф включает ряд требований на разработку продукта: жанром является стратегия в реальном времени. Трехмерная локация имеет симметричную компоновку с разделением по центру диагональю, на которой находятся два прохода, являющиеся точками интереса. Визуальный стиль локации должен отображать промышленную зону. Диагональ, расположенная в центре локации, разделяет цветовой тон архитектуры на сторону с холодными и сторону с теплыми цветами. Сама диагональ представляет собой канал, при разработке которого рекомендовано опираться на местность под названием «Los Angeles River». Для производительности предпочтительна условно-реалистичная стилизация, а также слабая детализация, учитывая вид сверху и планируемую возможность запустить компьютерный игровой продукт на современных бюджетных игровых компьютерах. Выбран формат трехмерных моделей fbx и abc с двумерными текстурными картами в формате png. Проект разрабатывается с использованием игрового движка Unreal Engine 5.

Разработка компьютерных игровых продуктов требует соблюдения ряда предписаний, содержащихся в нормативных документах. Так, в статье 1240 ГК РФ «Использование результата интеллектуальной деятельности в составе сложного объекта» указано на необходимость соблюдения авторского права по отношению к разработке и внедрению трехмерных и двумерных компьютерных объектов в трехмерных игровых локациях [11].

Компьютерные игровые продукты, в том числе локации, попадают под действие Федерального закона «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» (ФЗ-436) [12, 13].

На составляющую компьютерных игровых продуктов влияет положение Федерального закона «О противодействии экстремистской деятельности» (ФЗ-114) [12, 14].

Разрабатываемые локации должны содержать местность для конкретных целей и задач, связанных с организацией процесса разработки компьютерных игр. При разработке необходимо проектировать пространство и навигацию с учетом использования шаблонного дизайна частей локации для контролирования поведения игрока и его решений. Также не рекомендуется использовать высокую детализацию, учитывая подразумевающийся вид сверху, и использовать levels of detail для избежания высоких аппаратных нагрузок [15,16].

На рисунке 1 изображена блок-схема, созданная про помощи модели AS-IS, в нотации eEPC (событийной цепочки процессов), демонстрирующая процесс разработки трехмерной игровой локации. Целью моделирования является выявление возможных недостатков процесса разработки на этапе планирования.

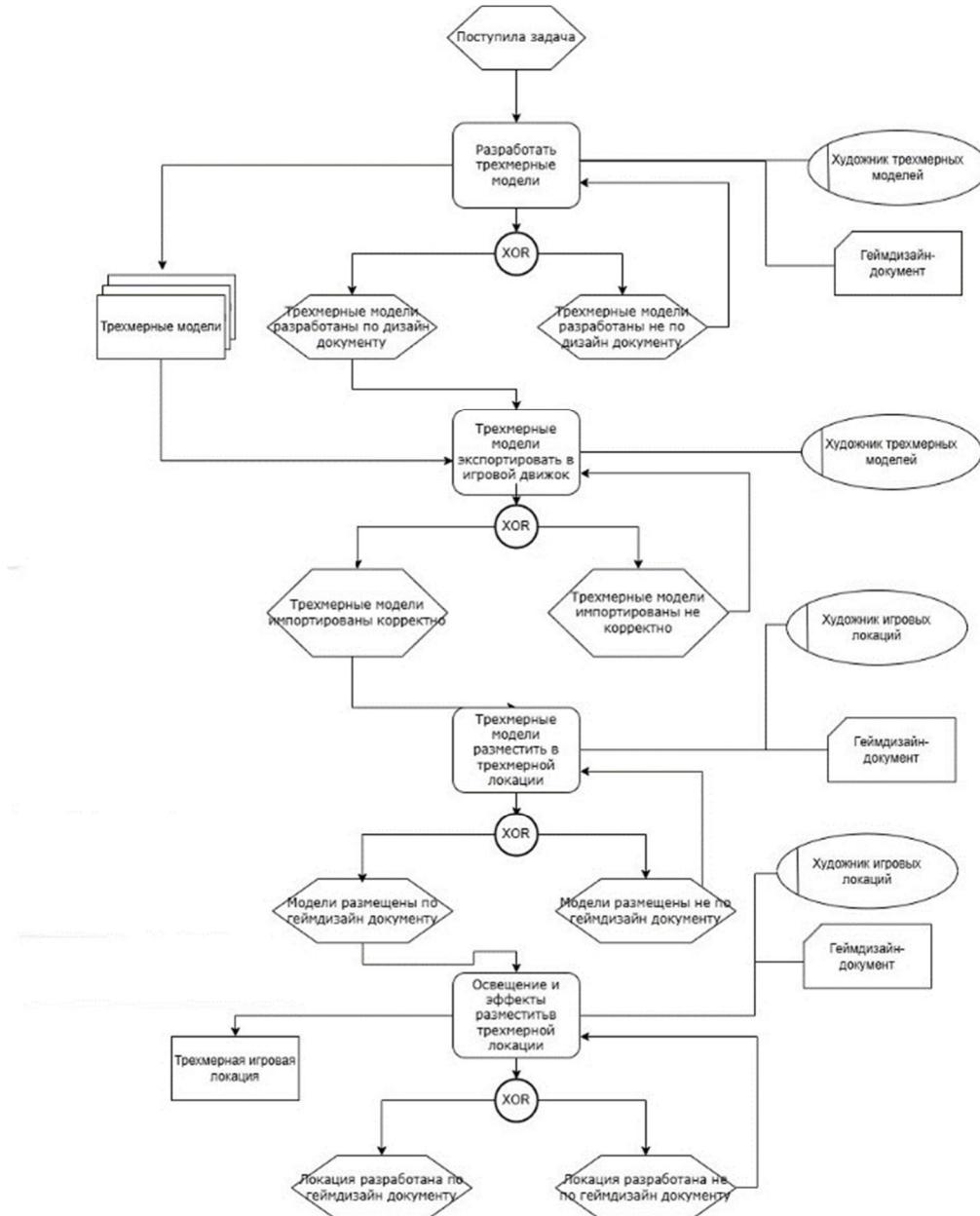


Рисунок 1. Блок-схема процесса разработки трехмерной игровой локации

Аналогичным образом рассмотрен процесс разработки трехмерных моделей, состоящий из следующих этапов: разработка низкополигональной и высокополигональной моделей для дальнейшего создания карт нормалей и текстурирования, разработки UV-развертки.

Референсы зданий промзоны сгенерированы программой искусственного интеллекта «Kandinsky». Всего получено десять изображений. В качестве примера на рисунке 2а представлено изображение,

сгенерированное по промту «складское здание, концепт-арт, вид издали сверху», а на рисунке 2б – по промту « завод, красный кирпич, аэрофотоснимок».



Рисунок 2. Изображения, созданные искусственным интеллектом: *а* – здание склада, *б* – здание завода

Работа с искусственным интеллектом позволила получить необходимую информацию о материалах, ландшафте, расположении светового потока и физических особенностях объектов.

Этап разработки трехмерных моделей реализован с применением программного обеспечения (ПО) Blender 3D, так как этот графический редактор может портировать файлы проектов в любом из возможных расширений.

В качестве основного программного обеспечения для работы с процедурной составляющей, использующей нодовые системы, языки VEX и Python, выбрано Side FX Houdini, которое имеет связь с игровым движком Unreal Engine 5, в котором производится демонстрация финальной версии продукта.

Разработка первой итерации локации состоит из обычных примитивов, из-за чего процесс часто называют блокинг, grayboxing и whiteboxing, однако whiteboxing часто рассматривается с позиции размещения силуэтов еще не готовых моделей. В основном это происходит для определения габаритов объектов и теста геймплея – игровой и функциональной составляющей [17, 18]. Составные трехмерные модели разделены на три категории зданий: склад, логистический центр, завод. Каждая категория содержит составные трехмерные модели для генерации отдельно первого этажа здания и последующих этажей.

Для генерации здания склада разработаны четыре составные трехмерные модели: стена второго и последующих этажей, стена первого этажа с окнами, стена первого этажа с дверьми, стена первого этажа с воротами для транспорта.

Для генерации здания логистического центра разработано пять составных трехмерных моделей: стена второго и последующих этажей, стена первого этажа, стена первого этажа с окнами, стена первого этажа с дверьми, стена первого этажа с разгрузочно-загрузочными воротами для транспорта. Вышеупомянутые составные трехмерные модели приведены на рисунке 3 в соответствующем порядке.

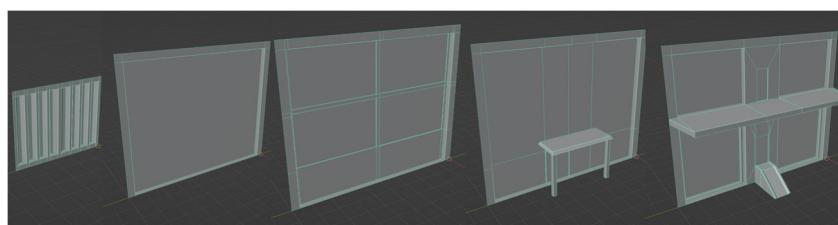


Рисунок 3. Составные трехмерные модели для процедурной генерации логистического центра

Для генерации здания завода разработано восемь составных трехмерных моделей: стена второго и последующих этажей основной части здания, стена с окнами второго и последующих этажей основной части здания, стена первого этажа основной части здания, стена первого этажа с окнами основной части здания, стена первого этажа с дверьми основной части здания, стена первого этажа с разгрузочно-загрузочными воротами для транспорта, стена верхней части здания, стена с окнами верхней части здания.

Программным обеспечением для разработки текстурных карт трехмерных объектов являются Adobe Substance 3D Painter и Adobe Substance 3D Designer.

Разработаны текстурные карты для составных трехмерных моделей для процедурной генерации с использованием программного обеспечения Substance Painter. Текстурные карты для составных трехмерных моделей здания склада используют теплые цветовые оттенки, для составных трехмерных моделей логистического центра – холодные цветовые оттенки. Для составных моделей здания завода разработаны две версии с теплыми и холодными цветовыми оттенками.

Для здания склада основным материалом является металл. В то время как стены имеют просто металлический цвет, каркас стен имеет оранжевый оттенок. Двери и проемы окон имитируют пластик. Ворота и дверь в воротах являются более темным вариантом оранжевого оттенка каркаса.

У здания логистического центра схожая ситуация, где основным материалом является металл. Каркас стен имеет синий оттенок. Проемы окон имитируют черный пластик. Дверь является менее насыщенным синим оттенком каркаса. Навесы имеют черный шероховатый материал.

Для здания завода разработано два набора схожих текстурных карт с единственным различием в цвете имитации кирпича, где в теплых тонах он является ярко-оранжевым и темно-зеленым в холодных тонах. Основным материалом является имитация кирпича. Фундамент является имитацией бетона.

Двери и поддержка навеса имеют серый металлический материал. Крыша навеса и ворота имеют темный шероховатый материал. Пример разработки текстурных карт представлен на рисунке 4.

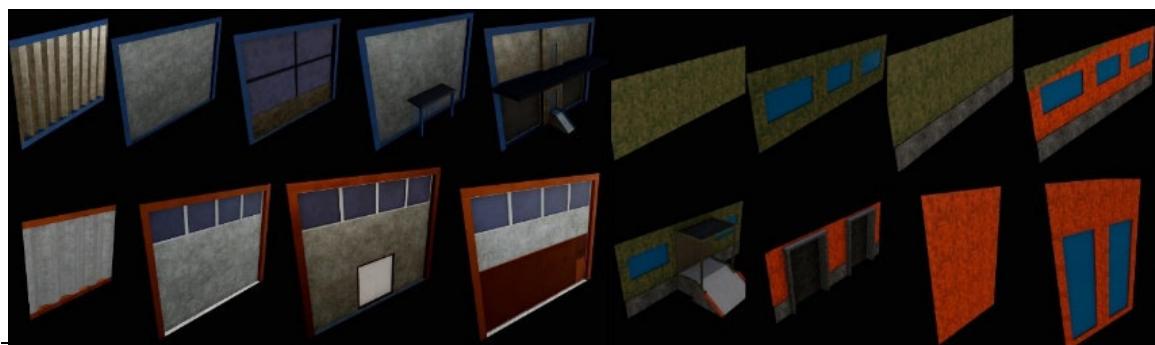


Рисунок 4. Пример разработки текстурных карт

Процесс импортирования трехмерных моделей в игровой движок состоит из следующих этапов: импорт модели и текстурных карт в игровой движок и их распределение по файловой системе игрового движка, разработка материала с использованием импортированных двумерных карт. Процесс размещения моделей в трехмерной игровой локации включает разработку функционального объекта для некоторых трехмерных моделей, а также размещение импортированных и подготовленных моделей. Далее следует размещение освещения и визуальных эффектов.

Геометрия, сгенерированная в Side FX Houdini, автоматически передается в игровой движок посредством полного переноса или отдельных точек со ссылками на трехмерные модели внутри проекта. Наложение материалов в основном происходит посредством ссылки на материал с текстурными картами в проекте, который был присвоен точке или геометрии. В исключительных случаях может понадобиться ручное наложение материала на геометрию. Рассмотрим последовательность выполнения работы в нодовой системе.

Процедурная генерация зданий состоит из разделения примитивной геометрии на этажи, наполнения краев этажей составными трехмерными моделями с заменой составных блоков в области, указанной дополнительной примитивной геометрией. Разбиение на этажи происходит при помощи разделения вертикальных граней примитивной геометрии по высоте. Далее нижняя плоскость примитивной геометрии дублируется на данные точки, тем самым образуя грани для заполнения каждого этажа стенами при помощи составных моделей (рис. 5).

Правила заполнения работают по регулярным выражениям, которые состоят из названий стен, повторение которых задается при помощи типа скобок, в которые заключено название стены. К примеру, первому этажу здания склада задана логика генерации стен в виде строчки с правилом [g_w01wgw01] [g_w01wgw01]<g_w01wgw01> [g_w01wgw01] [g_w01wgw01].

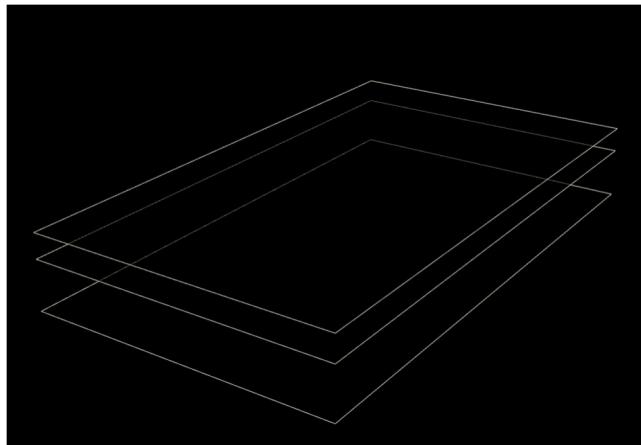


Рисунок 5. Результат разбиения примитивной геометрии на этажи

Итогом заполнения являются точки, расположенные на гранях этажей и содержащие информацию о модели, которую необходимо подставить на место точки, и об относительной масштабности, которую необходимо задать составной модели. Данные точки экспортируются в игровой движок.

Дополнительно разработан функционал замены типа составной модели при помощи второстепенных примитивов, где составные модели, входящие в область второстепенного примитива, заменяются на заранее определенную иную составную модель.

Таким образом разработаны три генератора разных зданий: здания склада, здания логистического центра, здания завода с возможностью выбора используемых текстурных карт на геометрии.

Генерация ландшафта выполнена при помощи пустой карты высоты, которая в последствии деформируется примитивной геометрией, расставленной в игровом движке. Деформированная карта высоты далее получает обработку размытием для смягчения грубых углов и последующую деформацию при помощи наложения шумов Manhattan Cellular F1 и Sparse Convulsion. В итоге поле высоты получает слабое искажение и последующую слабую деформацию при помощи симуляции эрозии земли, представленной на рисунке 6а. Перед финальной отправкой в игровой движок ландшафт подвергается выравниванию в местах нахождения геометрии зданий и дорог (рис. 6б).

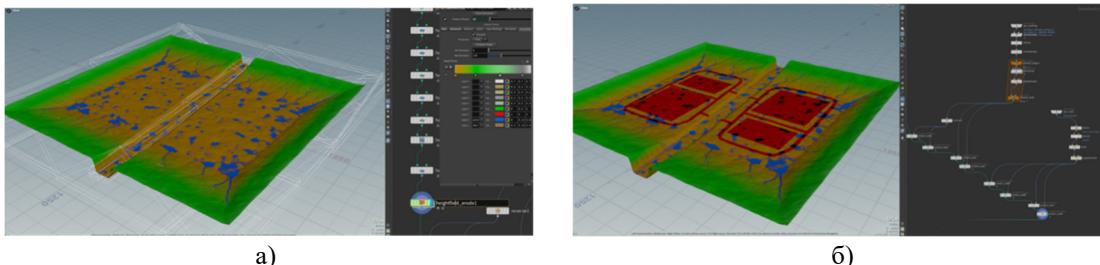


Рисунок 6. Пример разработки ландшафта в программном обеспечении The Side FX Houdini:

- a* – промежуточный вариант разработки ландшафта при помощи симуляции эрозии земли;
- б* – итоговой вариант разработки ландшафта с доработкой выравниванием

Процедурная генерация дорог осуществлена при помощи обработки кривых Безье, расставленных в игровом движке, которые впоследствии импортируются в программное обеспечение The Side FX Houdini. Далее кривые Безье подвергаются уменьшению количества точек на кривых до минимального расстояния между точками в 250 сантиметров. При помощи ландшафта, сгенерированного ранее, точкам присваивается тип наземной или надземной (рис. 7).

Разделение кривой производится по вышеуказанным типам. Из наземного типа создается геометрия наземных дорог с постобработкой в виде поиска пересечений и генерации перекрестков. В местах пересечений на геометрию дорог накладывается атрибут маски для разделения на геометрию, которая не подвергается обработке, и геометрию, трансформирующуюся в перекресток при помощи обработки вершин, граничащих с двумя пересекающимися дорогами. Перекресток преобразуется в сплошную плоскость для последующего объединения с оставшейся геометрией дорог.

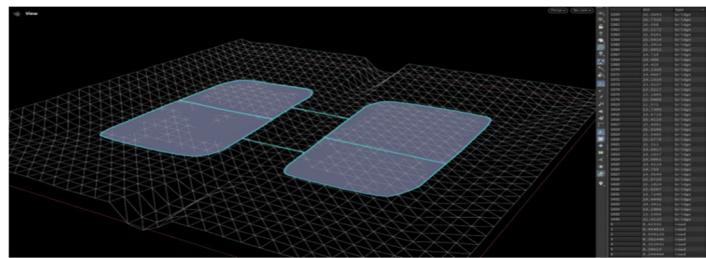


Рисунок 7. Результат присвоения точкам типа дороги с использованием геометрии ландшафта

Из надземного типа генерируется геометрия надземных дорог, где в зависимости от высоты над ландшафтом геометрия представлена сплошной заливкой фундамента при высоте от 500 до 750 сантиметров или мостом при высоте выше 750 сантиметров. Генерация дороги со сплошной заливкой фундамента, работающая на расстоянии от геометрии дороги до геометрии ландшафта, представлена на рисунке 8а. Генерация моста работает на основе генерации кривых из геометрии дороги и формируется при помощи параллельных и поперечных кривых структуры моста. Дополнительно на местах пересечения параллельных и поперечных кривых генерируется геометрия колон, заполняющая пространство от геометрии структуры моста до ландшафта. Результат построения представлен на рисунке 8б.

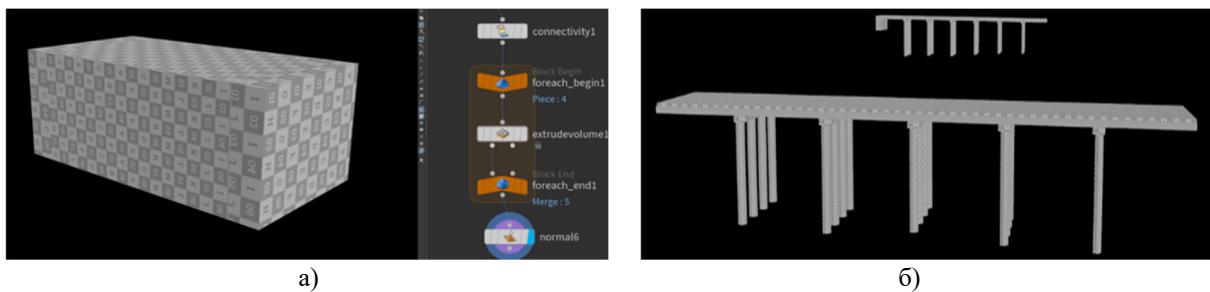


Рисунок 8. Пример сгенерированной геометрии надземных дорог:
а – пример генерации дороги; б – пример генерации моста

Конечным этапом работы является объединение всех типов дорог в одну геометрию и последующий экспорт в игровой движок.

Для генерации зданий вся геометрия импортирована в проект, в котором она применяется, и распределена по папкам в соответствии с генератором зданий. Такая же система использована с распределением материалов и текстурных карт по проекту.

До генерации расставлены объекты примитивной геометрии ландшафта, зданий и кривых дорог и труб завода (рис. 9).

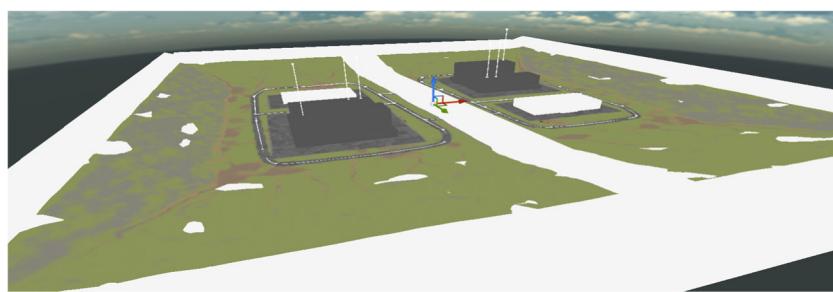


Рисунок 9. Расстановка примитивной геометрии в игровом движке

Результаты экспериментов

Использование разработанного инструментария генерации позволило создать здания, ландшафт и дорогу локации промзоны. Настройки процедурной генерации доступны в специальной вкладке Houdini Engine в окне настроек и параметров объекта. Готовая локация представлена на рисунке 10а в режиме отображения только цвета материала на геометрии, а на рисунке 10б представлено наличие освещения текстурных карт шероховатости и металличности.

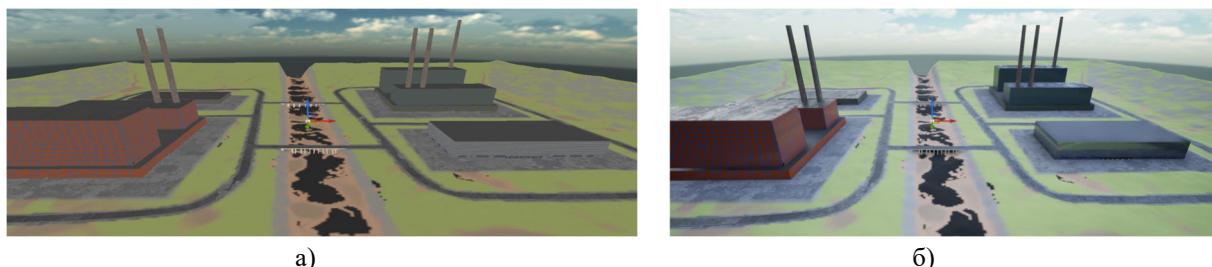


Рисунок 10. Разработанная локация в игровом движке в режиме полной визуализации: *а* – только различные цвета материалов; *б* – с учетом освещения текстурных карт шероховатости и металличности

Обсуждение результатов

Для определения эффективности разработки продукта за основу взяты два способа создания трехмерной игровой локации с применением инструмента процедурной генерации и без него. Очевидно, что первый вариант является предпочтительным, так как здесь наблюдается возможность экономии временных и финансовых ресурсов.

При проведении сравнительного анализа для определения затрат на разработку трехмерной модели игровой локации из готовых элементов в жанре «стратегия» с процедурной составляющей и без нее каждому разработанному элементу присвоено оригинальное название:

- склад – здание склада размерами 50 метров длиной и 50 метров шириной с одним основным и тремя дополнительными этажами;
- логистический центр – здание логистического центра размерами 100 метров длиной и 50 метров шириной с одним основным и пятью дополнительными этажами;
- завод – здание завода с основной частью в 100 метров длиной и 100 метров шириной, верхней частью в 80 метров длиной и 40 метров шириной, двумя трубами высотой 25 метров;
- ландшафт – ландшафт размером 512 на 512 метров;
- дорога – дорога длиной 100 метров с перекрестком и мостом.

Для подсчета стоимости времени разработки, была взята средняя зарплата художника по окружению в Москве, составляющая в среднем 90000 рублей, и разделена на 168 часов трудового месяца для получения почасовой стоимости работника, равной 535,7 рубля в час [19].

Сравнительная эффективность способов разработки локации

Элемент	Критерии			
	Время разработки без процедурного инструментария, ч.	Стоимость времени, потраченного на разработку, руб.	Время разработки с процедурным инструментарием, ч.	Стоимость времени, потраченного на разработку, руб.
Склад	0,187	100,18	0,086	46,07
Логистический центр	0,378	202,49	0,107	57,32
Завод	0,470	251,78	0,225	120,53
Ландшафт	0,398	213,21	0,145	77,68
Дорога	0,185	99,10	0,074	39,64
Сумма	1,618	867,76	0,637	341,24

Время разработки здания склада при использовании разработанного процедурного инструментария сократилось на 54 % по сравнению с разработкой зданий вручную из модульных элементов геометрии, здания логистического центра – на 71,7 %, здания завода – на 52,1 %. Время разработки ландшафта при помощи процедурного инструментария, использующего примитивы для формирования ландшафта, сократилось на 63,6 % по сравнению с ручным формированием ландшафта при помощи рисования через графический планшет. Время разработки дороги при помощи разработанной процедурной генерации через кривые Безье сократилось на 60 % по сравнению с ручным моделированием геометрии дороги и мостов. В итоге время на разработку локации с помощью процедурной генерации сократилось на 60, 28 %.

На практике доказано, что использование разработанных процедурных инструментов приводит к принципиальному сокращению временных ресурсов для производства трёхмерной локации. При этом появляется возможность масштабирования объектов и беспрепятственного внесения изменений в готовый продукт.

Выводы

Достигнутые результаты исследования позволяют утверждать, что использование процедурной генерации с помощью геометрических нод в Blender3D для создания цифровых локаций является актуальным перспективным направлением в игровой индустрии. Разработанные методы и модели демонстрируют, как современные технологии способствуют оптимизации процесса создания игровых миров, делая его более быстрым, экономичным и гибким. Разработка локации при помощи процедурного инструментария позволяет художнику по окружению быстрее выполнять поставленные задачи, сокращая финансовые ресурсы. Отметим, что вопросы, касающиеся внесения изменений в готовый продукт решаются существенно проще и быстрее по сравнению с повторной разработкой геометрии или перемещением модульных элементов вручную.

Список литературы

1. Харченко Т. В., Зорин П. С., Мысева Е. Р. Трудности и перспективы развития мирового рынка видеоигр. 2023.
2. Седых И. А. Индустрия компьютерных игр / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2020.
3. Тренды развития российского геймдева в 2025 году // Простые технологии. Режим доступа: <https://blog.rt.ru/b2c/trendy-razvitiya-rossiiskogo-geimdeva-v-2025-godu.htm/> (дата обращения: 7.11.2024).
4. Игровые локации в современных играх: как сюжет раскрывается через окружение // Voki Games. Режим доступа: <https://vokigames.com/ru/igrovye-lokacii-v-sovremennoy-igrah-kak-syuzhet-raskryvaetsya-cherez-okruzhenie/> (дата обращения: 16.12.2024).
5. Степанова А. А., Киргизов Ю. В. Способы вовлечения пользователей в игровой процесс компьютерных игр // Графический дизайн: традиции и инновации. 2021. С. 195–205.
6. McMillan J. Games, strategies, and managers. Oxford University Press, 1992.
7. Разработка локаций // info@rating-gamedev.ru. Режим доступа <https://rating-gamedev.ru/blog/razrabotka-lokacii?ysclid=md4v04uhn837210249/> (дата обращения: 24.05.2024).
8. McMillan J. Games, strategies, and managers. Oxford University Press, 1992.
9. From game design elements to gamefulness: defining "gamification" / Deterding S., et al. // Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments. 2011. С. 9–15.
10. Три типа игровых миров // DTF. Режим доступа: <https://dtf.ru/u/198189-naidzhel-blait/1209578-tri-tipa-igrovyyh-mirov> (дата обращения: 17.12.2024).
11. Киселева Л. Ю. Видеоигры как объекты права интеллектуальной собственности //Образование и право. 2022. №. 3. С. 93-99.
12. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 22.07.2024). Ст. 1240.123
13. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию».
14. Федеральный закон Российской Федерации от 25 июля 2002 г. № 114-ФЗ «О противодействии экстремистской деятельности».
15. Медведев М. Р., Фатуллаев Э. С. Правовое регулирование видеоигр по российскому законодательству // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 14. С. 312-322.
16. Трусов А. И., Ефимов А. А. Понятие государственной тайны и перечень сведений, составляющих государственную тайну // Гуманитарно-правовые аспекты развития российского общества. 2017. С. 474-478.
17. Щербов З. О. Технологический процесс создания контента игровых локаций. 2011.
18. Левел-дизайн 101: язык разработки локаций // DTF. Режим доступа: <https://dtf.ru/gamedev/1175122-level-dizain-101-yazyk-razrabotki-lokacii> (дата обращения: 19.12.2024).
19. Сколько зарабатывает 3d artist unreal в Москве // Фильтр Работ. Режим доступа <https://moskva.jobfilter.ru/career/3d-artist-unreal> (дата обращения: 08.05.2025).