Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.8:004.946

Гуменный Никита Андреевич

МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ГЕНЕРАЦИИ 3D-ЛАНДШАФТОВ

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 7-06-0611-03 – искусственный интеллект

_____
(подпись магистранта)

Научный руководитель
Захаров Владимир Владимирович
кандидат технических наук, доцент

_____
(подпись научного руководителя)

Минск 2026

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированная генерация 3D-ландшафтов применяется при построении цифровых двойников территорий, тренажерных и обучающих сред, игровых симуляторов и геоинформационных средств визуализации. Современные открытые высотные и векторные данные позволяют связывать синтезируемую сцену с реальной территорией, однако их непосредственное объединение не гарантирует согласованности дорог, зданий, водных объектов, растительности и поверхности.

В работе исследуется гибридный подход, при котором цифровая модель рельефа задает базовую поверхность, семантические маски интерпретируют объектные ограничения, процедурная детализация восстанавливает локальные формы, а регуляризация устраняет конфликты. Для проверки подхода разработан воспроизводимый синтетический экспериментальный стенд, позволяющий независимо включать детализацию и регуляризацию и вычислять геометрические, семантические и временные показатели.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Автоматизированная генерация трехмерных ландшафтов является значимой задачей на пересечении компьютерной графики, геоинформационных технологий, процедурного моделирования и методов искусственного интеллекта. Практическая потребность в таких методах связана с развитием цифровых двойников территорий, тренажерных и обучающих сред, игровых симуляторов, геоинформационной визуализации, а также систем предварительной оценки пространственных решений.

Традиционные процедурные методы позволяют быстро получать визуально выразительные формы рельефа, однако слабо учитывают реальные геопространственные ограничения. Геоинформационные подходы, напротив, обеспечивают привязку к исходным данным, но часто требуют дополнительной обработки для получения детализированной и семантически согласованной 3D-сцены. Отдельное применение эрозионных моделей, цифровых моделей рельефа, векторных картографических объектов или дата-зависимых методов не решает задачу комплексно, поскольку итоговая сцена должна одновременно быть воспроизводимой, управляемой, вычислительно предсказуемой и согласованной с размещением дорог, зданий, водных объектов и растительности.

В связи с этим актуальной является разработка гибридной модели генерации 3D-ландшафтов, в которой цифровая модель рельефа, векторные геоданные, семантические маски, процедурная или обучаемая детализация и регуляризация рассматриваются как части единого вычислительного конвейера.

Связь работы с приоритетными направлениями исследований и запросами реального сектора экономики

Тема диссертации соответствует направлению развития цифровых информационно-коммуникационных и междисциплинарных технологий, поскольку связана с автоматизированной обработкой пространственных данных, построением трехмерных цифровых представлений территорий и разработкой методов интерпретируемого пространственного моделирования.

Практическая направленность исследования определяется потребностью в средствах быстрого формирования 3D-сцен для цифровых двойников, тренажерных комплексов, интерактивной геоинформационной визуализации и имитационных сред. Такие средства позволяют сокращать трудоемкость подготовки пространственных моделей и повышать воспроизводимость экспериментальной визуализации территорий.

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Целью диссертационной работы является разработка и исследование гибридной модели автоматизированной генерации 3D-ландшафтов, обеспечивающей согласованное преобразование цифровых моделей рельефа и векторных геопространственных данных в семантически согласованную трехмерную сцену с контролируемой детализацией и воспроизводимыми показателями качества.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

– выполнен анализ современных моделей и средств генерации 3D-ландшафтов, включая процедурные, эрозионные, геоинформационные и data-driven подходы;

– определены требования к гибридному конвейеру генерации, учитывающему высотные данные, векторные геообъекты, семантические ограничения, тайловую обработку и уровни детализации;

– разработана формальная модель преобразования исходных геоданных в 3D-сцену с процедурной детализацией и физически мотивированной регуляризацией;

– реализован воспроизводимый синтетический экспериментальный стенд гибридной генерации 3D-ландшафта;

– разработана и проверена методика экспериментальной оценки качества генерации по геометрическим, семантическим и вычислительным критериям;

– выполнен анализ применимости предложенной модели для задач цифровых двойников, тренажерных сред, игровых симуляторов и геоинформационной визуализации.

Объектом исследования являются процессы автоматической генерации трехмерных ландшафтных сцен на основе цифровых моделей рельефа и геопространственных данных.

Предметом исследования являются модели и алгоритмы гибридной генерации 3D-ландшафтов, объединяющие обработку геоданных, процедурную детализацию, семантические правила размещения объектов и регуляризацию поверхности в рамках воспроизводимого вычислительного конвейера.

Методы исследования включают системный анализ, методы вычислительной геометрии, цифровой обработки высотных полей, процедурного моделирования, геоинформационного анализа, имитационного моделирования, экспериментальной оценки качества и сравнительного анализа вариантов вычислительного конвейера.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в разработке гибридной модели генерации 3D-ландшафтов, в которой:

– цифровая модель рельефа и векторные геопространственные данные рассматриваются как взаимосвязанные источники геометрических и семантических ограничений;

– семантические маски используются как единый управляющий слой для детализации, регуляризации и размещения объектов сцены;

– процедурная или обучаемая детализация отделяется от регуляризации, что позволяет независимо повышать выразительность рельефа и контролировать согласованность поверхности с объектами;

– качество результата оценивается по совокупности геометрических, семантических и вычислительных критериев, а не только по визуальному впечатлению.

В отличие от подходов, ориентированных только на стохастический синтез рельефа или только на визуализацию исходных геоданных, предложенная модель задает воспроизводимый конвейер преобразования разнородных данных в 3D-сцену и формализует критерии проверки результата.

Практическая значимость результатов

Практическая значимость работы состоит в разработке воспроизводимого программного стенда, который позволяет сравнивать варианты генерации, автоматически вычислять показатели согласованности и использовать полученные результаты как основу для последующего переноса конвейера на реальные геоданные.

Положения, выносимые на защиту

– гибридная модель преобразования $D_{dem}, D_{geo} \to H_0, M \to E(H_0 + G(H_0, M); P) \to S_{3D}$, связывающая высотные данные, векторные геообъекты, семантические маски, детализацию и регуляризацию;

– воспроизводимый синтетический экспериментальный стенд, обеспечивающий построение высотной сетки, формирование семантических масок, детализацию, регуляризацию и автоматический расчет показателей;

– методика оценки качества генерации, объединяющая геометрические, семантические и вычислительные показатели, включая ошибки высот, стыки тайлов, согласованность дорог и воды с рельефом, связность объектов, время генерации и воспроизводимость результата.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации с отграничением их от соавторов совместных исследований и публикаций

Личный вклад автора состоит в постановке задачи исследования, анализе современных подходов к генерации 3D-ландшафтов, разработке формальной гибридной модели, определении архитектуры прототипной реализации, формировании методики экспериментальной оценки и подготовке демонстрационных материалов, отражающих работу предложенного конвейера. Публикации по теме диссертации выполнены автором единолично; соавторы публикаций отсутствуют. Результаты, полученные соавторами публикаций, в диссертацию не вошли.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в рамках научной апробации результатов магистерского исследования на кафедре интеллектуальных информационных технологий БГУИР, а также представлены в материалах научной апробации результатов магистерского исследования (Минск, БГУИР, 2026). Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при изучении интеллектуальных систем, компьютерной графики, геоинформационного моделирования и процедурной генерации виртуальных сред.

Опубликованность результатов диссертации

По результатам выполненных исследований опубликованы 2 научные работы в сборнике тезисов докладов общим объемом 2 страницы. Опубликованные работы отражают современные подходы к автоматической генерации трехмерного рельефа и вопросы оптимизации процедурной генерации 3D-ландшафтов для систем реального времени.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из общей характеристики работы, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и одного приложения. Список использованных источников включает библиографический список из 50 наименований и список публикаций соискателя ученой степени из 2 наименований. Общий объем – 82 страницы, в том числе 17 рисунков, 24 таблицы, одно приложение на 4 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель, объект, предмет, задачи и методы исследования. Показано, что задача генерации 3D-ландшафтов требует не только построения визуально правдоподобной поверхности, но и согласования результата с геопространственными объектами, семантическими ограничениями и вычислительными требованиями.

В первой главе выполнен анализ современных моделей и средств генерации 3D-ландшафтов. Рассмотрены процедурные методы, эрозионное моделирование, подходы на основе цифровых моделей рельефа и геоинформационных данных, преобразование векторных объектов в 3D-сцены, data-driven методы, а также вопросы тайлинга и уровней детализации. Установлено, что ни один из рассмотренных классов методов в изолированном виде не обеспечивает одновременно реалистичность, управляемость, воспроизводимость и вычислительную предсказуемость. Сформулирована необходимость гибридного подхода, объединяющего преимущества процедурной генерации, геоинформационной интерпретации и регуляризации.

Во второй главе разработана гибридная модель генерации 3D-ландшафтов. Исходные данные представлены цифровой моделью рельефа D_{dem} и векторными геопространственными объектами D_{geo}. На их основе формируются базовая поверхность H_0, семантические маски M, параметры генерации и набор ограничений P. Процедурная или обучаемая детализация $G(H_0, M)$ используется для восстановления локальной формы, а регуляризация $E(\cdot; P)$ обеспечивает согласование поверхности с дорогами, зданиями, водными объектами, растительностью и границами тайлов. Предложенная модель позволяет разделить этапы повышения выразительности рельефа и этапы контроля его согласованности с объектами сцены.

В третьей главе описан воспроизводимый синтетический экспериментальный стенд и методика оценки. Стенд формирует сетку 96×96 узлов и семантические маски дороги, зданий и водного объекта при фиксированном значении seed. Рассмотрены базовый, процедурный, регуляризованный и гибридный варианты. Установлено, что регуляризация устраняет рассогласование общего стыка в пределах точности вычислений, снижает разброс высот оснований зданий примерно на 62% и ошибку уровня воды более чем на 91%.

В приложении представлены демонстрационные материалы практической реализации: состав входных данных и семантических масок, архитектура экспериментального конвейера, итоговая 3D-сцена после детализации и регуляризации, а также нормированное сравнение вариантов генерации по ключевым метрикам.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты:

– выполнен сравнительный анализ современных моделей генерации 3D-ландшафтов и обоснована необходимость гибридного подхода, совмещающего обработку геоданных, процедурную детализацию и регуляризацию;

– разработана формальная модель преобразования цифровой модели рельефа и векторных геопространственных данных в итоговую 3D-сцену с использованием семантических масок;

– реализован воспроизводимый синтетический экспериментальный стенд, позволяющий демонстрировать полный ход обработки и автоматически сохранять результаты;

– программно проверена методика экспериментальной оценки качества генерации по геометрическим, семантическим и вычислительным показателям;

– показана применимость предложенного подхода для задач цифровых двойников, тренажерных сред, интерактивной геоинформационной визуализации и игровых симуляторов.

Полученные результаты подтверждают, что генерация 3D-ландшафта должна рассматриваться как управляемый и проверяемый процесс преобразования разнородных пространственных данных, а не как однократная визуализация рельефа. Предложенный подход обеспечивает более строгую связь между исходными геоданными, процедурной детализацией, семантическими ограничениями и качеством итоговой 3D-сцены.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1–А. Гуменный, Н. А. Современные подходы к автоматической генерации трехмерного рельефа / Н. А. Гуменный // Материалы научной апробации результатов магистерского исследования. – Минск : БГУИР, 2026. – 1 с.

2–А. Гуменный, Н. А. Оптимизация алгоритмов процедурной генерации 3D-ландшафтов для систем реального времени / Н. А. Гуменный // Материалы научной апробации результатов магистерского исследования. – Минск : БГУИР, 2026. – 1 с.