

УДК 004.94 : 004.946

АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ СЦЕНАРИЕВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИГРОВОГО ДВИЖКА UNREAL ENGINE 5 НА ПРИМЕРЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Алексеев В.С.¹, студент гр. ИИМ-241, II курс

Научный руководитель: Стародубов А.Н.², к.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Аннотация. В статье представлен анализ разработки сценариев имитационного моделирования на базе игрового движка Unreal Engine 5. Рассмотрены архитектурные особенности построения систем моделирования, классификация объектов и выбор технологических решений. На примере создания цифрового двойника гидравлической механизированной крепи показаны этапы разработки 3D-моделей, настройки физического взаимодействия и реализации логики сценариев с использованием системы визуального программирования Blueprints. Проведённый анализ позволяет определить преимущества и ограничения применения игровых движков для задач промышленного моделирования, а также сформулировать рекомендации по организации подобных разработок.

Ключевые слова: имитационное моделирование, Unreal Engine 5, Blueprints, цифровой двойник, 3D-моделирование.

Современная промышленность все чаще обращается к методам имитационного моделирования для решения сложных инженерных задач. В горной отрасли, где условия работы связаны с высокими рисками и значительными затратами, возможность предварительной отработки технологических схем в виртуальной среде становится особенно востребованной. Традиционные подходы к моделированию, основанные на аналитических расчетах, не всегда позволяют оперативно оценить поведение оборудования при изменяющихся внешних условиях.

Одним из перспективных направлений в этой области становится использование игровых движков. Как отмечается в исследовании Д.В. Волчека, «рост информационных технологий привел к тому, что вычислительная мощность современных систем зачастую превышает необходимые потребности», что открывает новые возможности для применения игровых движков в научных и инженерных задачах [1]. Unreal Engine 5 (UE5) предлагает разработчикам мощные инструменты для создания реалистичных трехмерных сцен, встроенную физику и гибкие средства программирования логики. Однако

применение игрового движка для задач промышленного моделирования требует отдельного анализа: необходимо понять, насколько его возможности соответствуют требованиям к точности, производительности и удобству работы конечного пользователя [2].

В качестве конкретного объекта исследования выбрана гидравлическая механизированная крепь - сложное техническое устройство, работа которого критически важна для безопасности и эффективности горных работ. В статье рассматриваются архитектурные решения, выбор инструментов, этапы создания 3D-моделей и реализация логики сценариев.

Разработка начинается с определения архитектуры системы. В ходе работы выделены четыре основных класса объектов, каждый из которых отвечает за свою часть функциональности.

Гидромеханизированная крепь (ГШК) является центральным объектом моделирования. В архитектуре системы она представлена как цифровой двойник, объединяющий геометрическую модель и физические свойства. «Разработка цифровых двойников - это сложный процесс, требующий комплексного подхода», при котором необходимо учитывать множество факторов, включая геометрическую сложность объекта и его физические характеристики [3]. К классу относятся конструктивные элементы (основание, перекрытия, боковые щиты), гидравлические агрегаты (стойки и домкраты с параметрами хода и усилия распора) и текущее состояние (высота, угол наклона, давление в гидросистеме).

Горный массив (вмещающая среда) определяет внешние условия работы. В архитектуре системы этот класс включает физические характеристики пород (прочность, плотность, устойчивость к обрушению), геометрию пласта (мощность, угол залегания) и динамические свойства (логика обрушения кровли, сопротивление почвы).

Проходческий комбайн представляет собой смежное оборудование, задающее темп работы. Его параметры производительности связывают скорость выемки угля с моментом передвижки секций крепи.

Интеллектуальная система управления объединяет алгоритмы работы в разных режимах (ручной, автоматический), систему контроля критических нагрузок и механизмы сбора данных для последующего анализа.

Кроме объектов анализа, в архитектуре выделены граничащие объекты: интерфейс пользователя и инфраструктура среды (управление сценариями, учет данных, визуальные эффекты). Такое разделение позволяет четко распределить ответственность между компонентами и упрощает дальнейшую разработку.

Анализ технологий показал, что для реализации подобной системы оптимальным является сочетание нескольких инструментов.

Unreal Engine 5 выбран в качестве основной платформы. Благодаря мощной физической модели и возможностям визуального программирования является оптимальным вариантом для моделирования сложных физических процессов в промышленных условиях. Движок обеспечивает высокую детализацию сцен благодаря технологии Nanite, позволяющей работать с геометрией большого объёма без потери производительности. Встроенный физический движок даёт возможность моделировать нагрузки при взаимодействии крепи с горной породой, что критически важно для инженерных задач.

Blueprints Visual Scripting используется для реализации логики сценариев. Визуальное программирование обладает рядом преимуществ: гибкость, наглядность отладки (процесс выполнения виден на схеме) и событийный подход, который хорошо соответствует реальной логике работы оборудования. «Магия Blueprints заключается в свободе экспериментирования, которую они предоставляют», а узелковая система помогает лучше визуализировать функциональность [2]. Событийный подход позволяет строить логику на основе событий (например, «комбайн проехал - крепь передвинулась»), что соответствует реальному технологическому процессу.

Blender применяется для создания 3D-моделей. Программа предоставляет необходимые инструменты для полигонального моделирования сложных технических объектов, поддерживает экспорт в форматы, совместимые с Unreal Engine, и позволяет создавать материалы и коллизии.

Взаимодействие пользователя с системой организовано через интерактивный графический интерфейс, встроенный в среду UE5. Пользователь может выбирать сценарии, настраивать параметры в реальном времени и наблюдать за показателями работы оборудования.

Процесс создания 3D-модели секции механизированной крепи в Blender включал несколько этапов. Сначала на основе референсных изображений были сформированы базовые формы. Затем выполнена детализация. Готовые элементы скопированы и размещены с учётом симметрии. На заключительном этапе наложены материалы, настроены параметры поверхности для реалистичного отображения металлических и гидравлических деталей.

Для секции крепи выбраны габаритные коробки (Box Collision), покрывающие основные конструктивные элементы. Это решение даёт оптимальный баланс между точностью взаимодействия и вычислительной нагрузкой.

Экспорт модели в Unreal Engine выполнен с помощью официального аддона Send2Unreal, который автоматизирует передачу моделей, материалов и коллизий из Blender в проект UE5.

Анализ разработки сценариев показал, что ключевыми компонентами в UE5 являются:

Каталог ресурсов (Content Browser) организован иерархически, что упрощает навигацию и сопровождение проекта. В структуру включены папки Core

(ядро системы), Equipment (оборудование с подпапками для крепи и комбайна), Environment (горный массив), UI (интерфейс), Maps (уровни), Data (данные), Paths (маршруты), VFX (визуальные эффекты), Audio (звуки).

Уровни (Maps) разделены на два типа: главное меню (L_MainMenu), где выбираются сценарии и настраиваются параметры, и уровни симуляции (L_Simulation), каждый из которых соответствует определённому горно-геологическому сценарию.

GameMode и GameState отвечают за правила симуляции и хранение данных, доступных всем участникам процесса.

Blueprint-классы созданы для каждого типа оборудования. Базовый класс (BP_BaseEquipment) содержит общие свойства и методы. Класс крепи (BP_Shield) реализует логику распора, передвижки и взаимодействия с массивом. Класс комбайна (BP_Shearer) управляет движением и выемкой.

Одним из преимуществ использования Blueprints является наглядность процесса отладки. Разработчик может запустить симуляцию в режиме отладки (PIE - Play In Editor) и наблюдать за выполнением логики в реальном времени. Узлы Blueprints подсвечиваются по мере выполнения, что позволяет быстро локализовать ошибки в логике. Кроме того, встроенные инструменты визуализации физических взаимодействий (отображение коллизий, трассировка лучей) помогают настраивать корректное взаимодействие крепи с горным массивом.

Логика сценариев строится на событийной модели. Продвижение комбайна запускает последовательность передвижки секций. Датчики давления контролируют соответствие параметров заданным значениям. При достижении критических нагрузок срабатывает система блокировки.

Для хранения параметров сценариев используются Data Assets (хранят предустановленные наборы параметров) и механизм SaveGame (обеспечивает сохранение текущего состояния симуляции). Результаты моделирования экспортируются в формат CSV для последующей работы над данными.

Для разработки сценариев имитационного моделирования можно выделить как преимущества, так и ограничения использования Unreal Engine 5.

Преимущества:

- Высокое качество визуализации, позволяющее создавать реалистичные сцены, приближенные к реальным условиям;
- Наличие встроенной физики, что снижает потребность в интеграции сторонних библиотек;
- Гибкость Blueprints, позволяющая быстро модифицировать логику без глубоких навыков текстового программирования;
- Масштабируемость проекта благодаря модульной архитектуре и иерархической организации ресурсов.

Ограничения:

- Требования к аппаратному обеспечению: для полноценной работы необходимы современные вычислительные мощности;
- Ориентация движка на игровые задачи, что иногда требует дополнительных усилий для адаптации под инженерные расчеты.

Кроме того, к ограничениям можно отнести сложность версионирования бинарных файлов Blueprints при командной разработке и относительно высокий порог входа для освоения специфической парадигмы визуального программирования.

В целом проведенный анализ демонстрирует, что разработка сценариев имитационного моделирования должна осуществляться с учетом специфики производственной задачи, требований к точности физического взаимодействия, реалистичности визуализации и доступных вычислительных ресурсов. Одним из перспективных направлений развития является интеграция возможностей игрового движка Unreal Engine 5 (визуализация, физика, событийная модель) с внешними расчетными модулями и системами сбора данных в рамках единой гибридной архитектуры цифрового двойника.

Список литературы:

1. Волчек, Д. В. Использование игровых движков для моделирования физических процессов / Д. В. Волчек // Радиотехника и электроника : сборник тезисов докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 257.
2. Ерешко, Ф. И. Об алгоритмическом обеспечении программного комплекса имитационного игрового моделирования / Ф. И. Ерешко, Ю. И. Бродский, В. В. Шевченко // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2021. – № 3. – С. 18–27.
3. Нефелов, И. С. Методы повышения точности создания цифровых двойников деталей машин с повреждением или износом рабочих поверхностей / И. С. Нефелов, В. В. Филатов, Н. И. Ватин, А. Ю. Коноплин, Д. А. Юдин // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18. – № 11. – С. 53–58.
4. Хигерович, Л. Анатомия игры : от моддинга к мастерству / Л. Хигерович. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2025. – 368 с.