

УДК 796.34:621.317

**СОЗДАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ТРАЕКТОРИИ МЯЧА В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ**

Зайцев А.А., студент гр. ИБс-231, II курс

Чеботников А.В., студент гр. ИБс-231, II курс

Научный руководитель: Кобылянский Д.М., к.т.н., доцент

Научный руководитель: Козлов С.Д., старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва  
г. Кемерово

Современный спорт все чаще обращается к компьютерному моделированию для анализа и совершенствования техники игроков. Особенно это актуально для таких технически сложных видов спорта, как настольный теннис, где траектория полета мяча зависит от множества факторов. В данной работе представлена разработка виртуального симулятора, позволяющего исследовать влияние двух ключевых параметров - угла наклона ракетки и силы удара - на траекторию полета мяча.

**Актуальность:** Развитие физической культуры и спорта среди студенческой молодёжи является важной социальной задачей, направленной на укрепление здоровья, повышение двигательной активности и формирование здорового образа жизни. Однако современные студенты сталкиваются с рядом проблем, таких как высокая учебная нагрузка, недостаток времени на тренировки и ограниченный доступ к спортивным объектам. В этих условиях цифровые технологии, включая симуляторы и виртуальные тренажёры, могут стать эффективным инструментом для популяризации спорта, обучения техническим элементам и мотивации к занятиям физической активностью.

**Цель:** Целью данного проекта было исследовать влияние угла наклона ракетки и силы удара на траекторию полета мяча в настольном теннисе (пин-понге), используя симуляцию в движке Unity для приближенного моделирования реальных условий, а также оценить потенциал применения подобных симуляторов в спортивной подготовке студентов.

**Задачи проекта:**

1. Разработать установку для симуляции полета мяча в Unity.
2. Моделировать физику полета мяча, учитывая такие параметры, как угол удара, сила удара, гравитация и сопротивление воздуха.
3. Изучить, как изменения угла наклона ракетки и силы удара влияют на траекторию полета мяча.
4. Получить данные о расстоянии и угле отскока для различных параметров удара.

5. Проанализировать возможности использования симулятора в учебно-тренировочном процессе студентов для повышения эффективности обучения технике настольного тенниса.

## Этапы выполнения работы

### 1. Разработка установки для симуляции:

Для моделирования полета мяча был создан физический мир в Unity, который включает в себя следующие компоненты:

- 3D-модель ракетки и мяча, а также сцена с поверхностью для отражения мяча (стол для настольного тенниса).
- Физическая модель мяча, которая учитывает его массу 2.7 грамм, сопротивление воздуха и гравитацию. Для этого использовалась стандартная физика Unity, в том числе компоненты Rigidbody для мяча, которые позволяют моделировать движение с учетом сил, действующих на объект.
- Система ввода, позволяющая изменять угол наклона ракетки и силу удара через интерфейс в Unity. Это позволило гибко управлять параметрами удара и наблюдать за результатами.

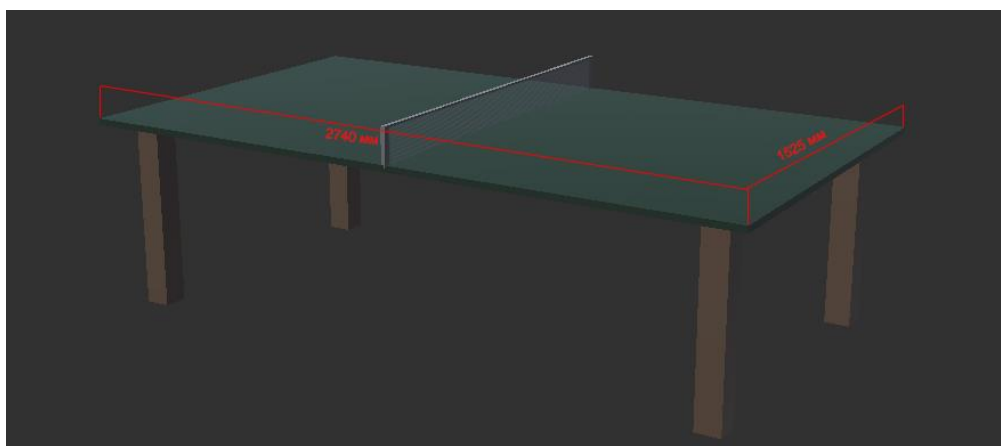


Рисунок 1 Модель стола для настольного тенниса



Рисунок 2 Модель ракетки для настольного тенниса

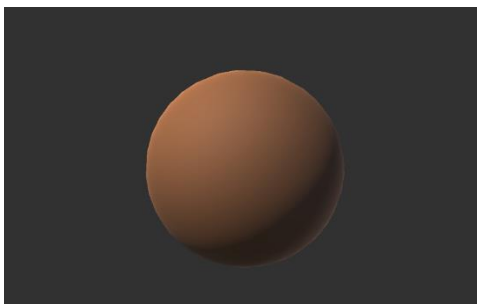


Рисунок 3 Модель шарика (мячика) для настольного тенниса

## 2. Реализация физики полета мяча

Для моделирования полета мяча в Unity была реализована физическая модель, которая учитывает ключевые параметры, влияющие на траекторию. Использовались встроенные возможности движка Unity для работы с физикой, такие как Rigidbody и обработка столкновений.

### Моделирование физических процессов:

- **Гравитация:** автоматически учитывается встроенной системой Unity Physics.
- **Сопротивление воздуха:** для моделирования сопротивления использовалась настройка drag компонента Rigidbody.
- **Сила удара:** реализована через применение начальной скорости и дополнительной силы, зависящей от количества ударов (HitForce и BonusForce).
- **Угол наклона ракетки:** определялся через ориентацию ракетки (SwordController) в момент столкновения с мячом.

### Обработка столкновений:

- **Столкновения с поверхностями:**
  - При столкновении с ракеткой вычисляется новая траектория и прикладывается сила удара.
  - Угол отскока рассчитывается на основе нормали точки контакта и входящей скорости мяча:

```
Vector3 reflection = Vector3.Reflect(previousVelocity.normalized, contactNormal);  
bounceAngle = Vector3.Angle(previousVelocity.normalized, reflection);
```

- **Эффект от стола и других объектов:** скорость и угол отражения изменяются в зависимости от характеристик поверхности.

### 3. Сбор данных о траектории

Для анализа влияния параметров удара на траекторию полета мяча была реализована система сбора данных. В процессе симуляции фиксировались:

- **Расстояние, пройденное мячом:** вычислялось на основе изменения позиции мяча в каждом кадре.

```
totalDistance += Vector3.Distance(currentPosition, lastPosition);
```

- **Угол отскока:** определялся после каждого столкновения с поверхностью.
- **Скорость мяча в момент удара:** измерялась в режиме реального времени с помощью метода:

```
Vector3 velocity = rb.velocity;  
speedMPS = velocity.magnitude;
```

### 4. Влияние угла и силы удара на траекторию

- **Угол наклона ракетки:**
  - Влияние угла на траекторию мяча моделировалось через изменение ориентации ракетки. Чем больше угол наклона, тем сильнее менялся угол отражения мяча.
  - Отскок визуализировался через изменение угла отражения, который рассчитывался с использованием векторов входящей и отраженной скорости.
- **Сила удара:**
  - Прямая зависимость между силой удара и дальностью полета мяча наблюдалась в симуляции. При увеличении силы мяча (HitForce и BonusForce) его траектория удлинялась.
  - Сила удара измерялась в ньютонах и отображалась на интерфейсе.

### 5. Вывод данных на интерфейс

Для визуализации результатов симуляции на экране в реальном времени отображались:

- Средняя скорость мяча.
- Пройденное расстояние.
- Угол отскока.

- Сила удара в различных точках (стол, ракетка игрока, ракетка AI).

Использовались текстовые элементы Unity (Text), которые обновлялись в методах Update и FixedUpdate.

## 6. Результаты симуляции

Длина перемещения, мм	Путь, мм	Угол отскока, градус	Сила, с которой ударился мяч об стол	Сила, в момент удара об ракетку	Угол наклона ракетки (ось X, ось Y, ось Z), градус	Сила подачи, (ось X, ось Y, ось Z), ньютон
2723	3036	73	9,4	7,7	(0, 0, 0)	(0, 40, 40)
1916	3098	80	9,88	8,1	(0, 0, 0)	(0, 45, 40)
2017	3139	79	9,88	7,94	(0, 0, 0)	(0, 40, 45)
1943	2961	66	9,2	7,74	(-10, 10, 0)	(0, 40, 40)
2682	3038	70	9,47	7,75	(0, 10, 0)	(0, 40, 40)
2699	3046	70	9,54	7,75	(0, 6, 0)	(0, 40, 40)
1952	2962	65	9,2	7,75	(10, 0, 0)	(0, 40, 40)



Рисунок 4 Измерение параметров отскока мяча

## 7. Вывод

Проведённое исследование наглядно продемонстрировало ключевую зависимость траектории полёта мяча от двух фундаментальных параметров - угла наклона ракетки и приложенной силы удара. Анализ экспериментальных данных выявил устойчивые закономерности: увеличение вертикальной составляющей силы (ось Y) приводит к более крутой траектории с уменьшением дальности полёта, в то время как горизонтальная составляющая (ось Z)

непосредственно определяет расстояние перемещения мяча. Особый интерес представляют наблюдаемые изменения характеристик отскока при варьировании угла наклона ракетки по различным осям.

В современных условиях развитие физической культуры и спорта среди студентов сталкивается с рядом вызовов:

- Снижение двигательной активности из-за высокой учебной нагрузки и цифровизации образования, ведущее к ухудшению здоровья.
- Недостаток мотивации к занятиям спортом из-за отсутствия доступных и интересных форм тренировок.
- Дефицит инфраструктуры — многие вузы не располагают достаточным количеством спортивных залов и инвентаря.
- Нехватка квалифицированных тренеров, способных эффективно обучать студентов технике сложных видов спорта, таких как настольный теннис.

Внедрение виртуальных симуляторов, подобных разработанному в данном проекте, может стать одним из решений этих проблем. Компьютерное моделирование позволяет:

- Повысить доступность тренировок — студенты могут отрабатывать технику даже при отсутствии реального стола и ракеток.
- Обеспечить индивидуализированный подход — анализ данных симуляции помогает корректировать ошибки в технике удара.
- Сделать обучение увлекательным — игровые элементы и VR-технологии повышают вовлечённость.
- Компенсировать нехватку тренеров — симулятор может частично заменить инструктора, предоставляя обратную связь по параметрам удара.

Следует особо отметить, что текущая модель, несмотря на свою функциональность, имеет ряд существенных ограничений, требующих внимания. Наиболее значимым является отсутствие в симуляции эффекта Магнуса, играющего принципиальную роль в реальной игровой динамике. Кроме того, используемый физический движок Unity, хотя и предоставляет удобные инструменты для моделирования, вносит определённые упрощения в расчёты сложных физических взаимодействий. Нельзя не учитывать и фактор ограниченного опыта работы с платформой на момент разработки, что могло сказаться на точности реализации отдельных аспектов модели.

В контексте дальнейшего развития проекта намечаются три основных направления совершенствования. Первостепенной задачей является реализация эффекта Магнуса, что позволит учесть сложную вращательную динамику мяча. В планах реализовать универсальное кроссплатформенное решение, способное одновременно поддерживать как традиционный ПК-интерфейс для аналитической работы, так и полноценный VR-режим, обеспечивающий тренировочную среду с эффектом погружения. В долгосрочной перспективе рассматривается переход на Unreal Engine 5, который благодаря передовым технологиям физического моделирования и визуализации (таким как Lumen и Nanite) сможет обеспечить более качественный уровень реализма симуляции, включая сложные хаотичные отскоки, микродеформации поверхностей и улучшенную интеграцию с системами виртуальной реальности.

Полученные результаты создают прочную основу для трансформации исследовательского прототипа в полноценный тренировочный комплекс нового поколения. Такой комплекс сможет органично сочетать в себе научный подход к анализу игровой техники с передовыми технологиями виртуальной реальности, открывая новые возможности как для профессиональных спортсменов, так и для тренерского состава. Дальнейшая работа будет сосредоточена на последовательном повышении точности физического моделирования и расширении функциональных возможностей системы, что в перспективе позволит создать универсальный инструмент для подготовки спортсменов международного уровня. Несмотря на существующие ограничения, данный проект является важным шагом в данной новой области и послужит основой для дальнейших исследований и улучшений.

### Список литературы:

1. Unity Technologies. Unity User Manual (2022.3 LTS version) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> (дата обращения: 30.03.2025)
2. Unity Technologies. Unity Scripting API: Rigidbody class [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Rigidbody.html> (дата обращения: 30.03.2025)
3. Microsoft Corporation. C# Programming Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/programming-guide/> (дата обращения: 30.03.2025)
4. Unity Technologies. Unity Manual: Physics Section [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Manual/PhysicsSection.html> (дата обращения: 30.03.2025)
5. Unity Technologies. Unity Physics Engine: How Unity Handles Physics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unity.com/ru/how-to/unity-physics-engine> (дата обращения: 30.03.2025)