

**ФАКУЛЬТЕТ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ  
КАФЕДРА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И  
БОРОТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**Выполнил:** студент группы 3470 Петелин Даниил Николаевич

**Научный руководитель:** старший преподаватель Сакович Сергей Юрьевич

**Рецензент:**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Тема:** Моделирование управления движения необитаемого подводного аппарата вблизи потенциально опасного объекта

## Цели работы:

- Разработать математическую модель динамики НПА (6 степеней свободы).
- Реализовать алгоритмы управления (PID, потенциальные поля, избегание препятствий).
- Визуализировать движение НПА и опасные объекты.
- Провести тестирование системы в различных сценариях.

## Задачи:

- Анализ существующих методов управления НПА.
- Анализ математической модели управляемого движения НПА.
- Разработка и реализация программной архитектуры симулятора.
- Тестирование и анализ результатов.

# Актуальность НПА

## Цели НПА:

- Исследование подводного пространства (картирование дна, поиск объектов, изучение флоры и фауны).
- Инспекция подводных сооружений (трубопроводы, кабели, нефтяные платформы).
- Поисково-спасательные операции (обнаружение затонувших объектов, помощь в аварийных ситуациях).
- Военное применение (разведка, минное траление, противодействие диверсиям).
- Научные исследования (изучение океанских течений, гидротермальных источников, климатических изменений).



## Задачи НПА:

### Навигация и управление

- Автономное движение по заданному маршруту.
- Обход препятствий (коралловые рифы, затонувшие суда, искусственные сооружения).
- Стабилизация положения в условиях течений и турбулентности.

### Сбор данных

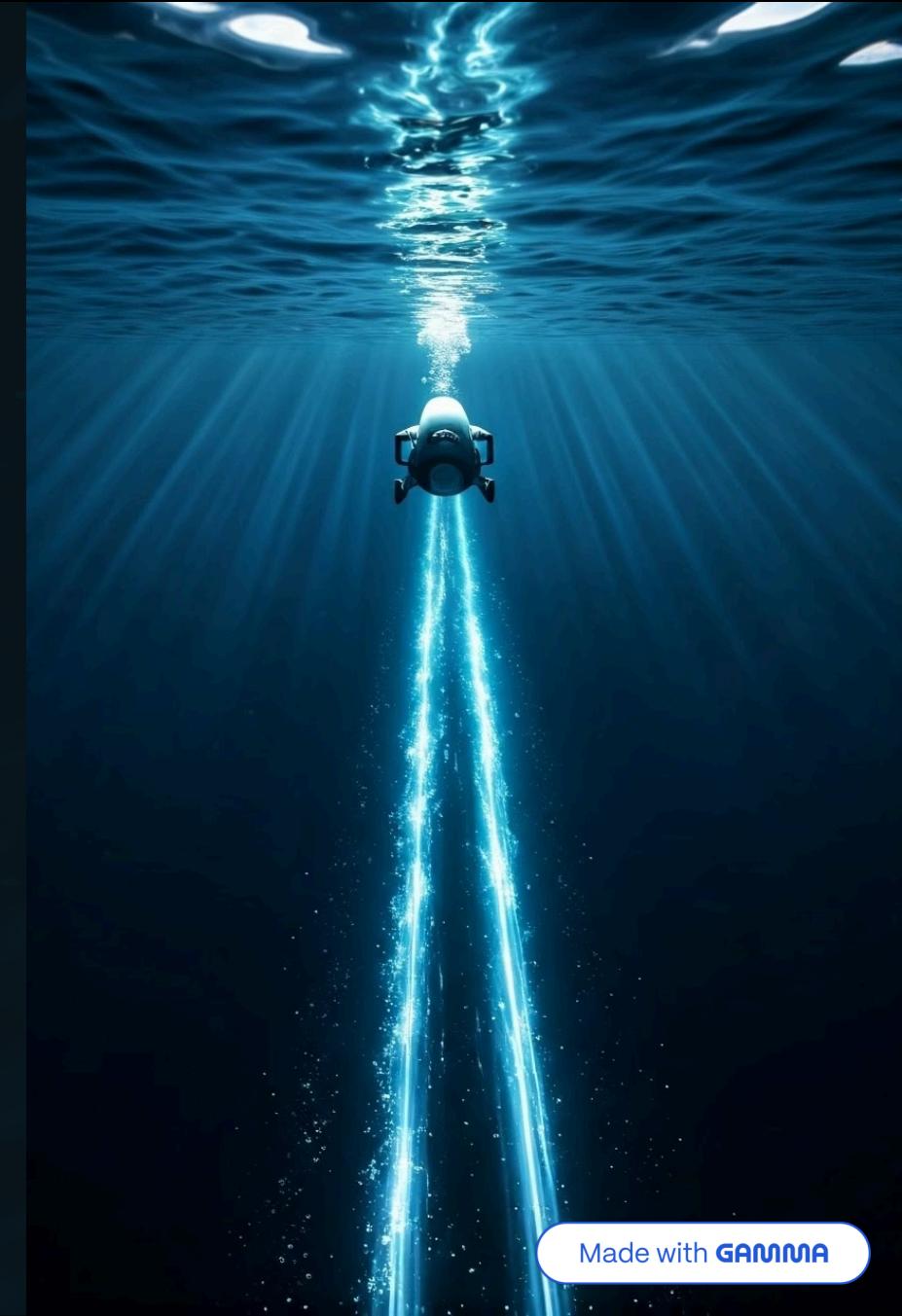
- Запись видео и фото в реальном времени.
- Сканирование дна (сонары, лидары).
- Замер параметров среды (температура, солёность, давление).

### Взаимодействие с оператором

- Передача данных на поверхность (по кабелю или через акустические модемы).
- Режим дистанционного управления (ROV — Remotely Operated Vehicle).
- Аварийное всплытие при потере связи.

### Выполнение специфических операций

- Монтаж/демонтаж оборудования.
- Забор проб грунта и воды.
- Установка датчиков и маркеров.



# Применяемые методы

## PID-регуляторы

Обеспечивают  
стабильность и точность  
управления

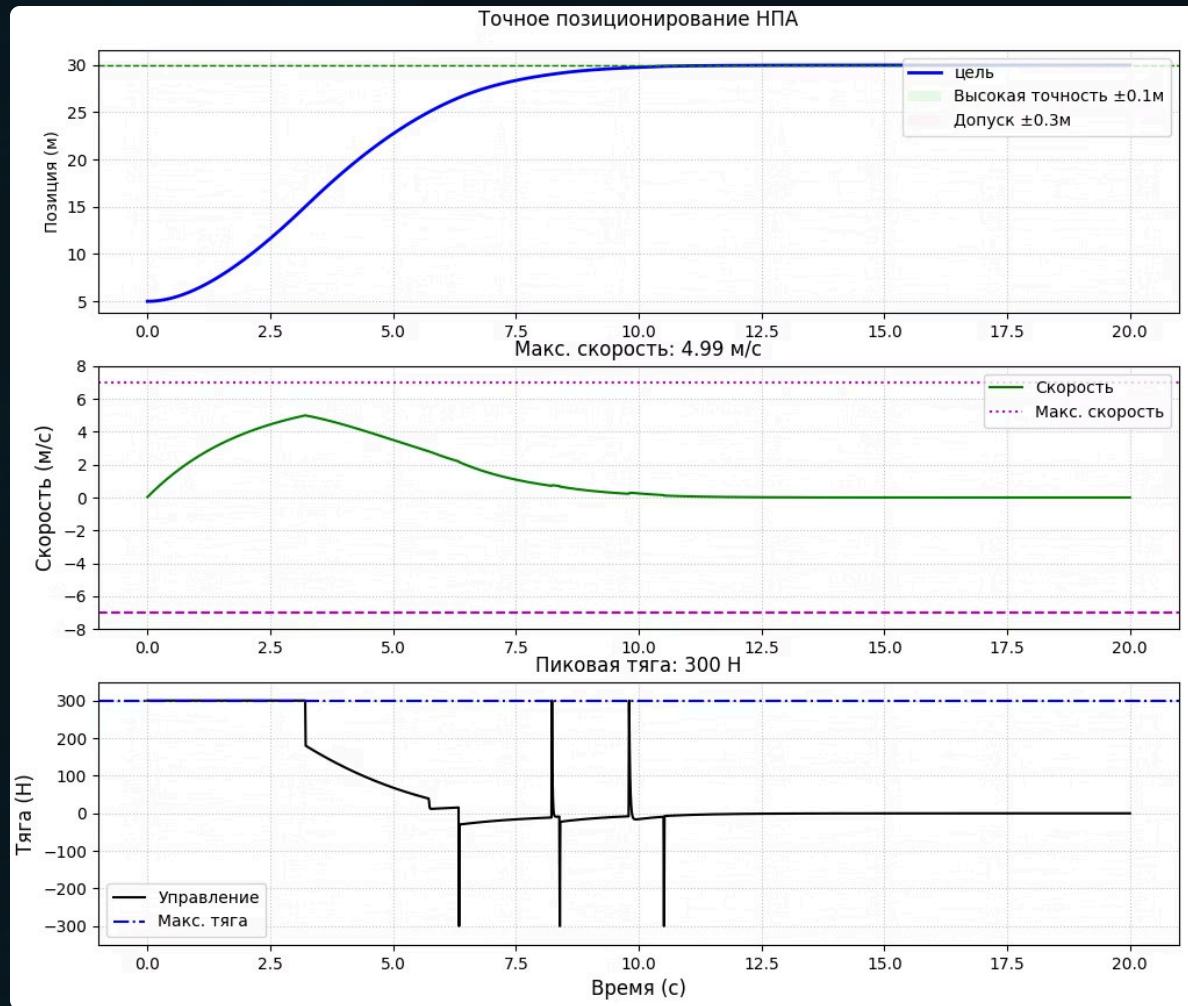
## Потенциальные поля

Используются для обхода и  
уклонения от препятствий

## Адаптивная интеграция

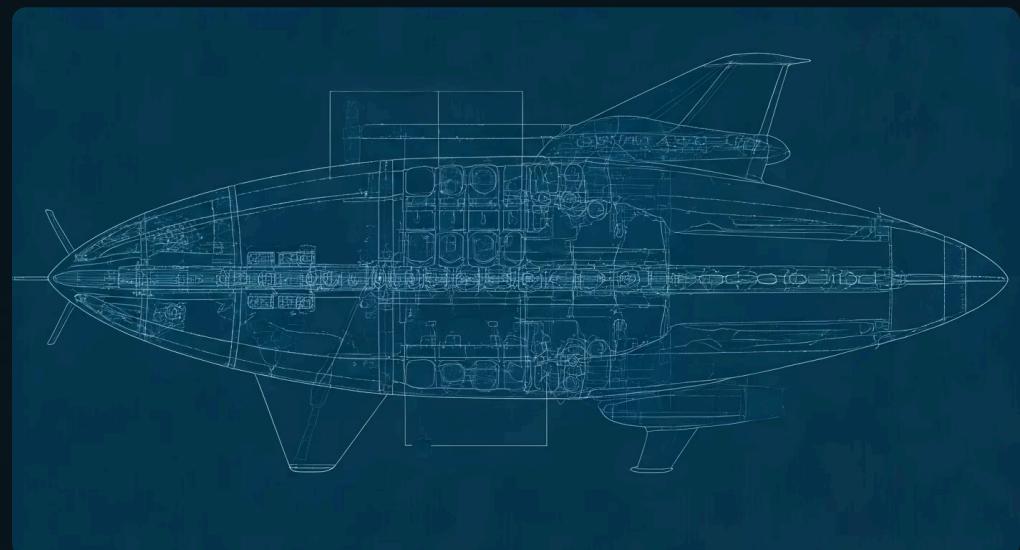
Комбинирует методы для  
эффективного управления

# Расчет траектории



# Математическая модель (6-DOF)

- Поступательное и вращательное движение НПА
- Гидродинамические силы: добавочные массы и демпфирование
- Уравнение движения:  $M \cdot \ddot{v} + C(v) \cdot \dot{v} + D(v) \cdot v + g(\eta) = \tau + \tau_{env}$





# Детализация математической модели движения НПА

Уравнения движения по шести степеням свободы учитывают поступательное и вращательное движение, основываясь на массе, инерции и гидродинамических силах. Включены матрицы корролисовой, центробежной и демпфирующей сил.

Модель гидростатики отражает восстановительные силы с учётом углов крена и дифферента, что важно для устойчивости аппарата в реальных условиях океана.

# Система управления

PID адаптируется в несколько этапов:  
ускорение, стабилизация, коррекция.

Параметры меняются в зависимости от  
расстояния до цели.

Логика переключения режимов встроена в  
модель симуляции.



# Архитектура системы



Python

Расчёты и управление  
логикой



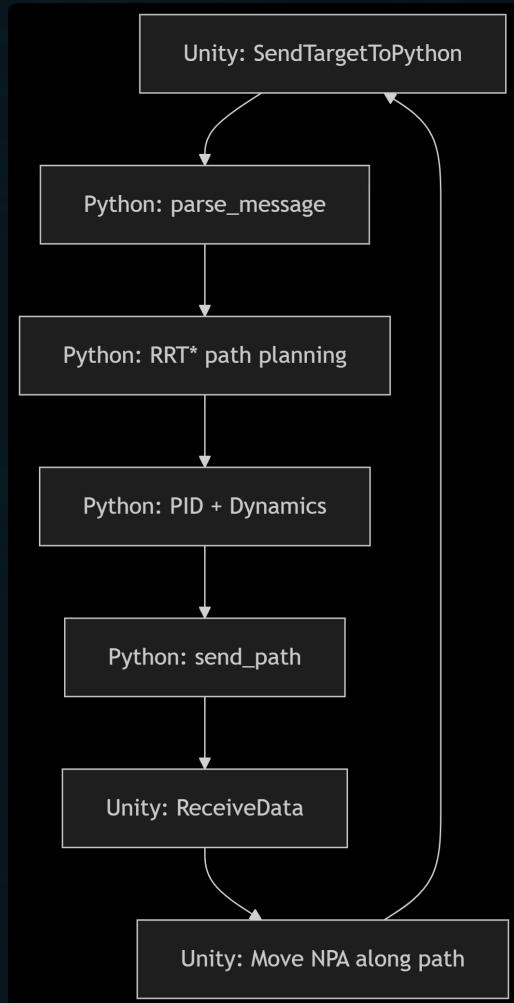
Unity

Визуализация среды и  
траекторий НПА



Связь

UDP протокол для  
интеграции компонентов



### 1. Инициализация:

- Unity: NPAController создаёт UDP-клиент, отправляет начальные данные (цель, препятствия).
- Python: UDPServer принимает данные, инициализирует контроллер (IntegratedController).

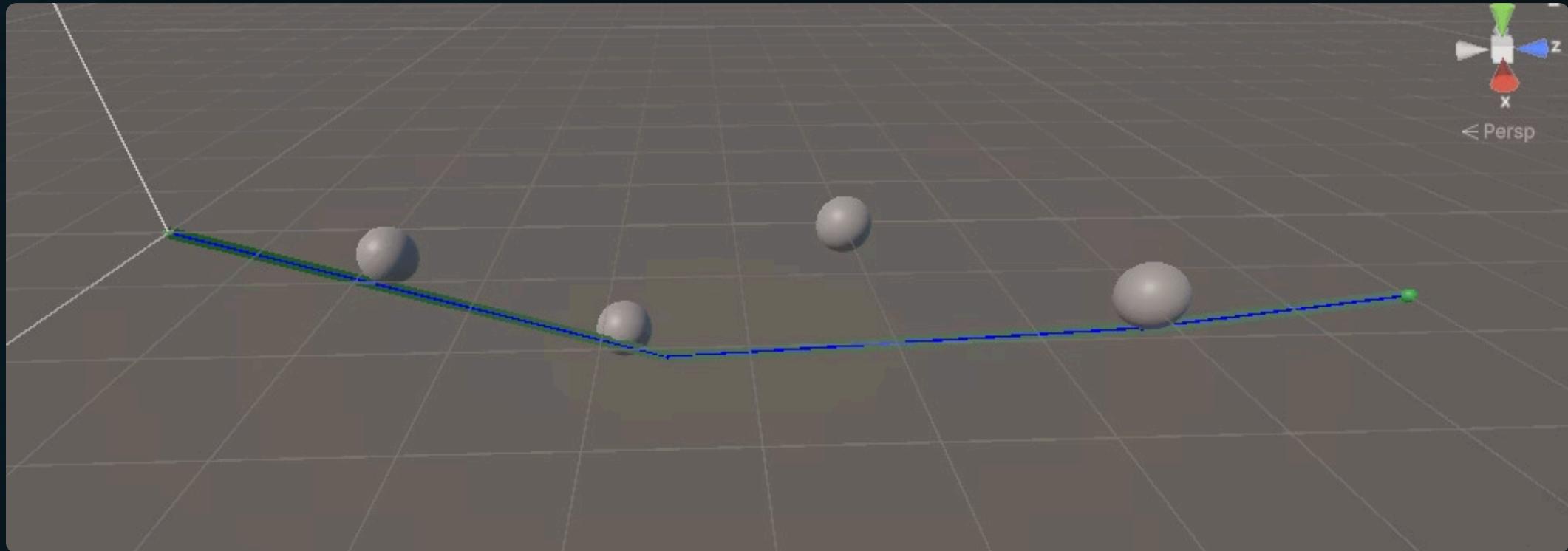
### 2. Детали:

- RRT\*: Строит глобальный путь, избегая препятствий.
- PID: Регулирует скорость на отрезках пути.
- Динамика: Интегрирует уравнения движения, учитывая гидродинамику.
- Визуализация: Unity обновляет позицию НПА и рисует траекторию через Linerenderer.

### 3. Адаптация:

- PID-коэффициенты меняются в зависимости от расстояния до цели.
- При изменении цели или появлении новых препятствий путь пересчитывается.





пример визуализации траектории

# Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана математическая модель динамики необитаемого подводного аппарата (НПА) с шестью степенями свободы, учитывающая гидродинамические силы, моменты и внешние воздействия. Реализованы алгоритмы управления на основе **PID-регуляторов и метода потенциальных полей**, обеспечивающие точное движение НПА и избегание препятствий.

1. Разработана **6-DOF** модель движения НПА с учётом гидростатики и гидродинамики.
2. Реализована **система адаптивного управления**, сочетающая PID-регуляторы и алгоритмы обхода препятствий.
3. Создан **симулятор на Python и Unity** для визуализации движения НПА вблизи опасных объектов.
4. Проведено **тестирование в различных сценариях**, подтвердившее эффективность предложенных методов.

# Основные публикации

Носавин А. А. Обзор современных средств моделирования подводных роботов // Всероссийская научно-техническая конференция «Морские информационно-измерительные и управляющие системы». – СПБ, 2020.

Носавин А. А. Разработка графического симулятора автономного необитаемого подводного робота // Всероссийская научно-техническая конференция «Морские информационно-измерительные и управляющие системы». – СПБ, 2021.

A vertical column on the left side of the image features a dark blue background with a prominent, light blue marbled or liquid-like texture. Small white specks resembling stars are scattered across the surface.

Спасибо за  
внимание!