

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра системного программирования

Моделирование почвы для расчета нагрузок и имитации строительных процессов

Научный руководитель:
доцент кафедры СП,
Алеева В.Н

Автор работы:
студент группы КЭ-401
Козинец Я.А.

Челябинск, 2024 г

АКТУАЛЬНОСТЬ

- Потребность инженеров в реалистичном моделировании строительных симуляций и расчете нагрузок на технику
- Обучение специалистов не на реальной технике
- Создание беспилотной техники за счет машинного обучения
- Разработка игр
- Отсутствие подобных продуктов на отечественном рынке

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель:

Разработка модели почвы для расчета нагрузок и имитации строительных процессов

Задачи:

1. Провести обзор аналогов и изучить предметную область.
2. Спроектировать и реализовать модель деформируемой поверхности почвы в физическом движке.
3. Спроектировать и реализовать гранулированную модель почвы для имитации разрушения почвы в физическом движке.
4. Реализовать расчет и вывод нагрузок на взаимодействующие с почвой объекты.
5. Провести тестирование модели на основе различных параметров почвы.

ОБЗОР АНАЛОГОВ

PROJECT CHRONO



Algorix[®]
AGX DYNAMICS

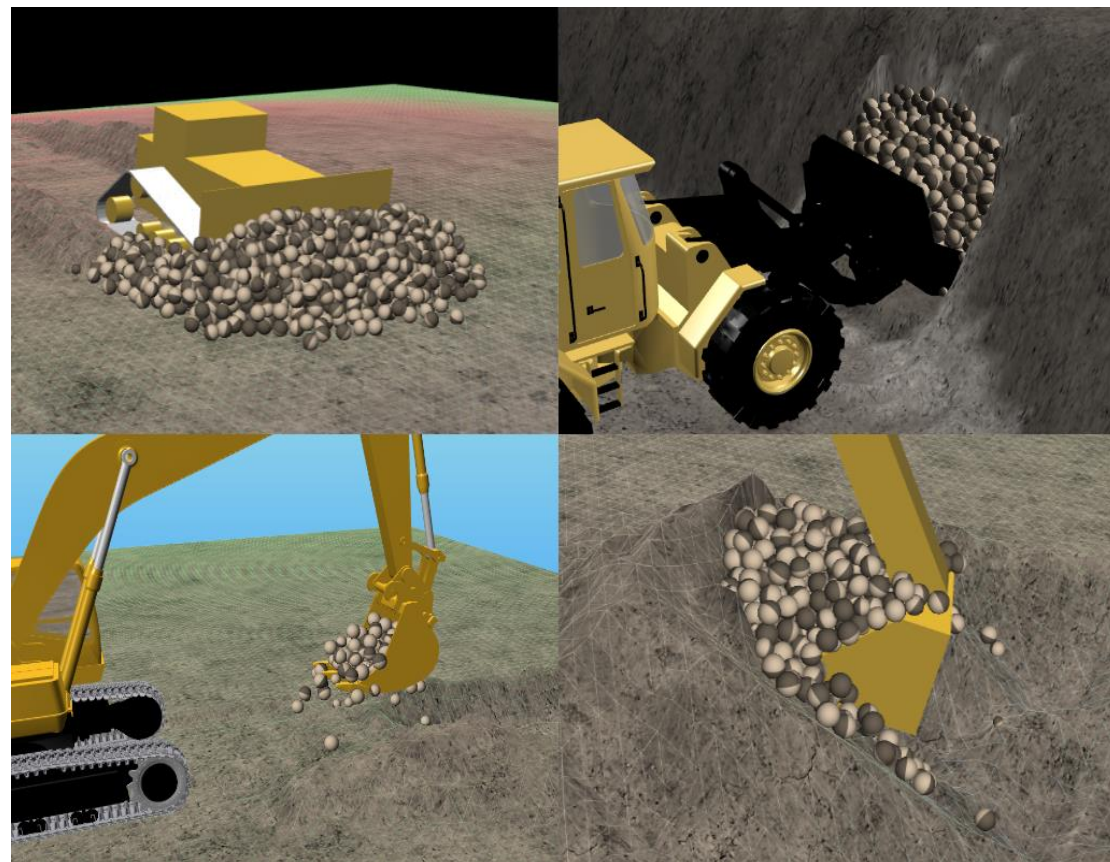
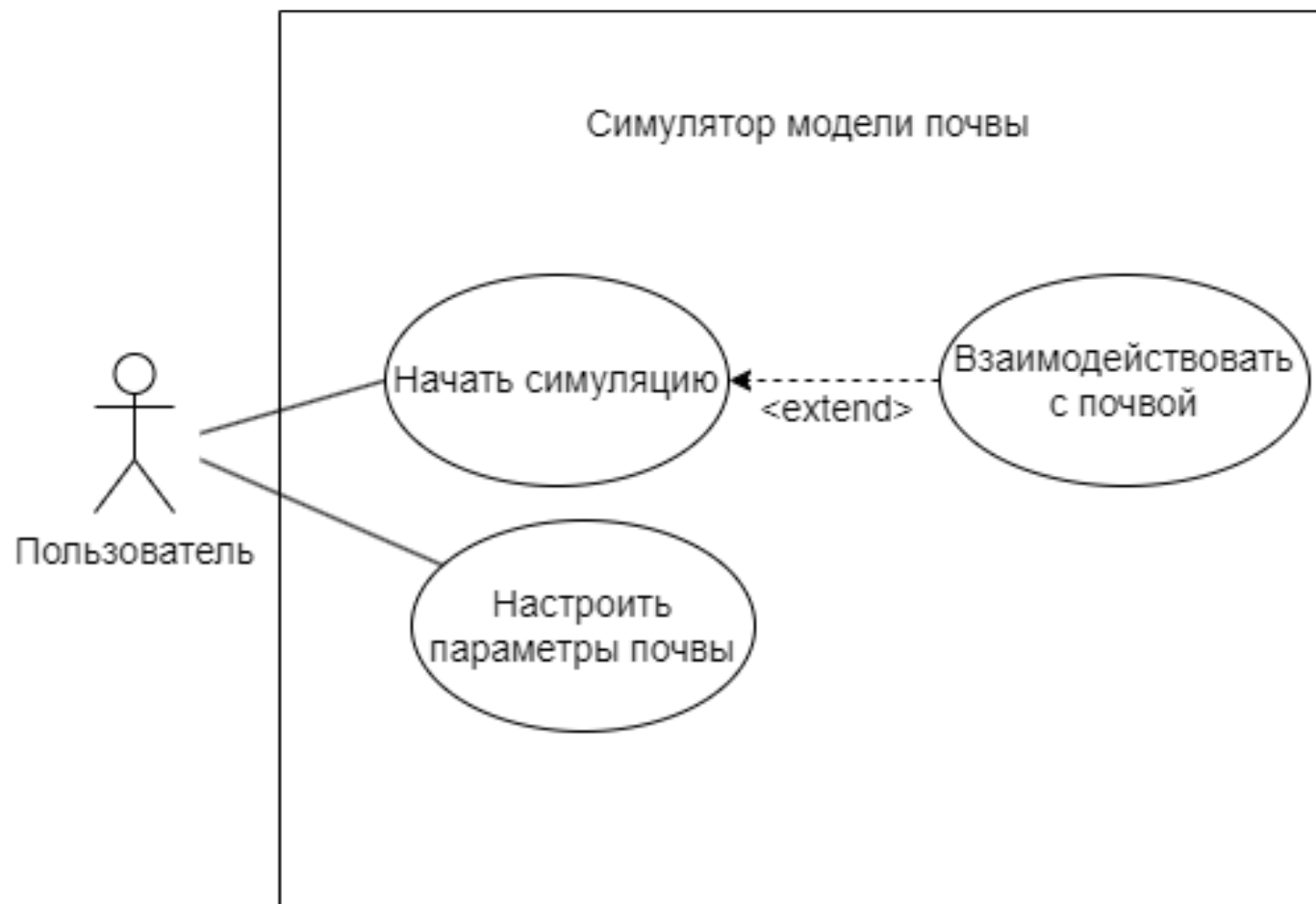


ДИАГРАММА ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ



СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

- Unity Engine 2021.3.34f1 (64 bit)
- Unity Hub 3.7.0
- Visual Studio 2019
- Язык программирования C# 7.3

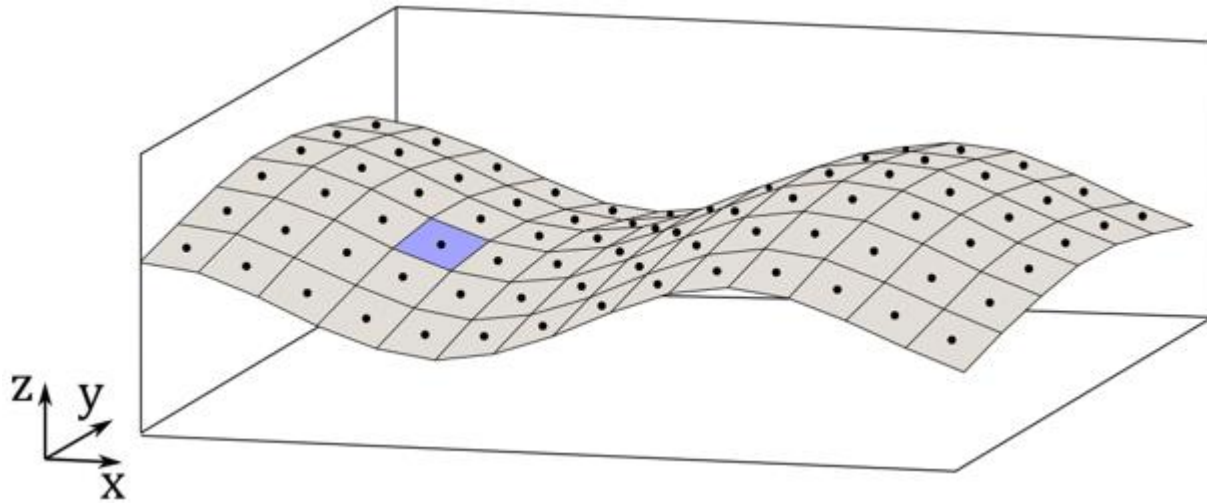
ИСТОЧНИКИ АССЕТОВ

Модель танка, обладающая физически точной механикой управления и взаимодействия компонентов.

- 'Physics Tank Maker Online Manual' (Ver.3.2)
- Unity Asset Store

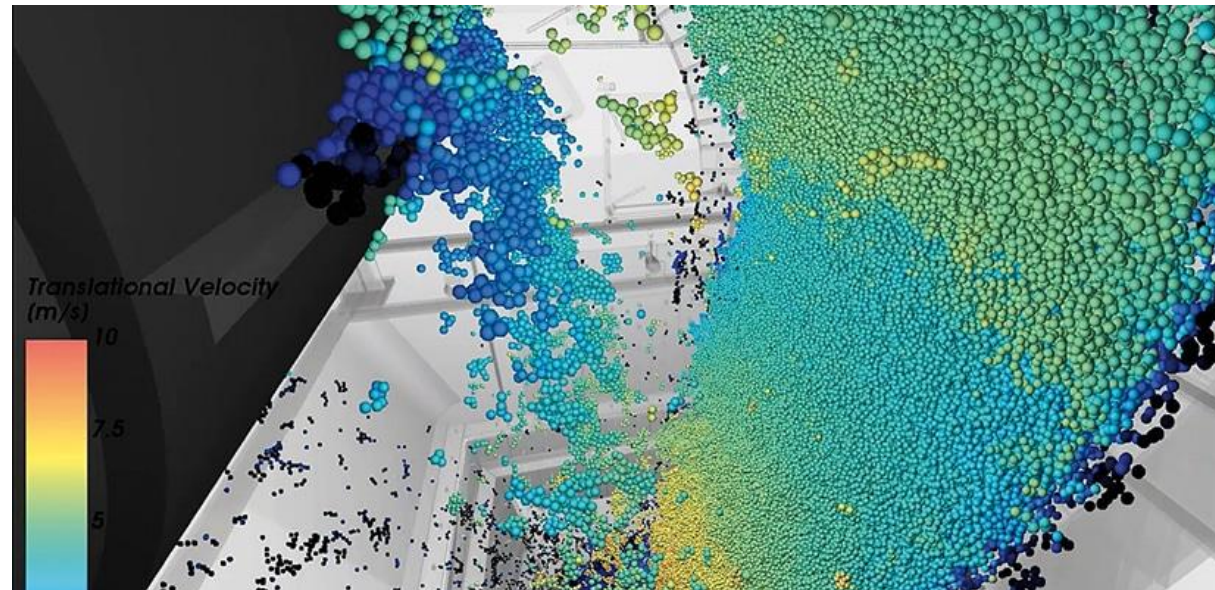
Также модели и текстуры, находящиеся в свободном доступе.

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД

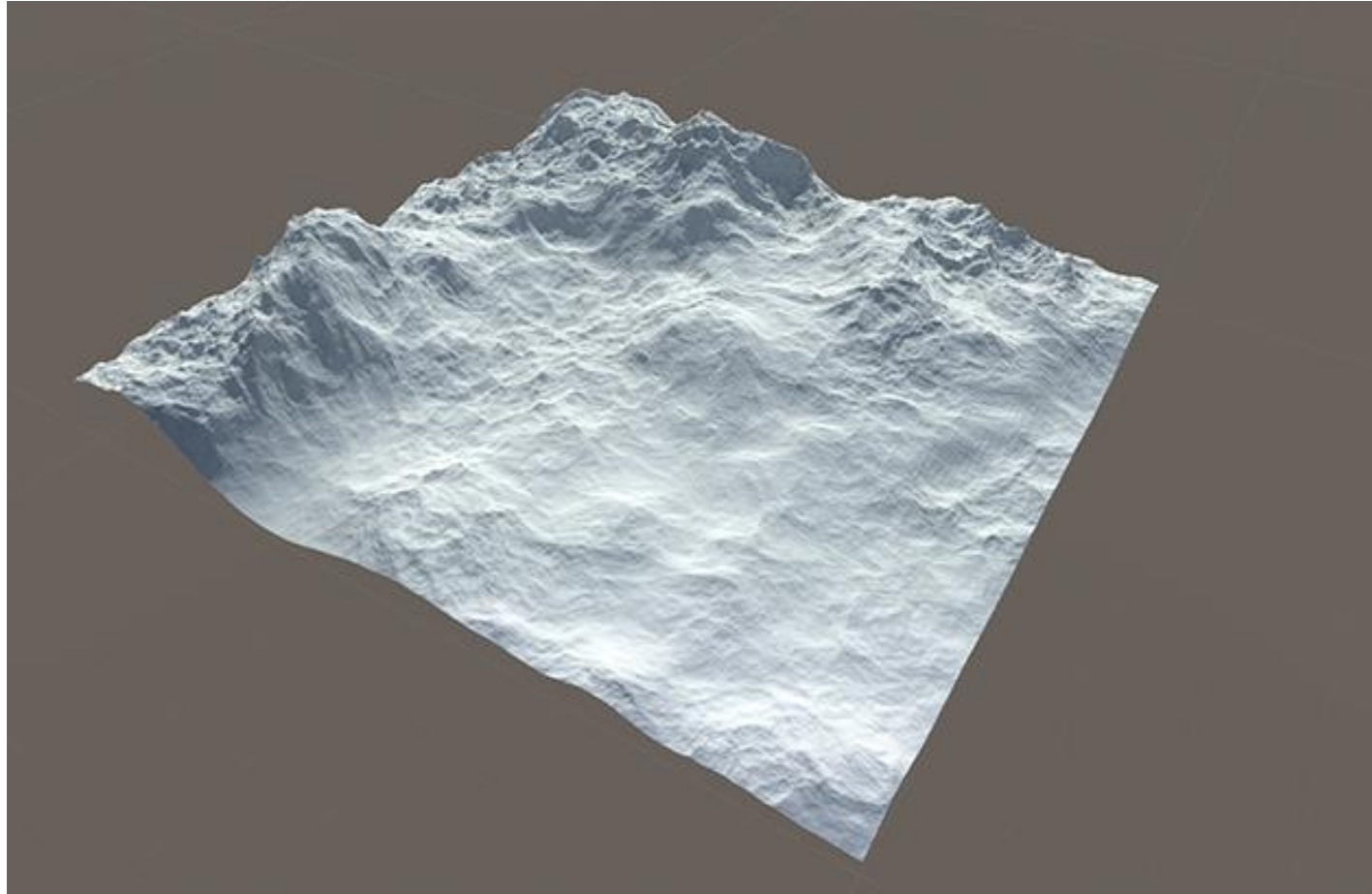


Сетчатая модель высот, представляющая деформируемую поверхность

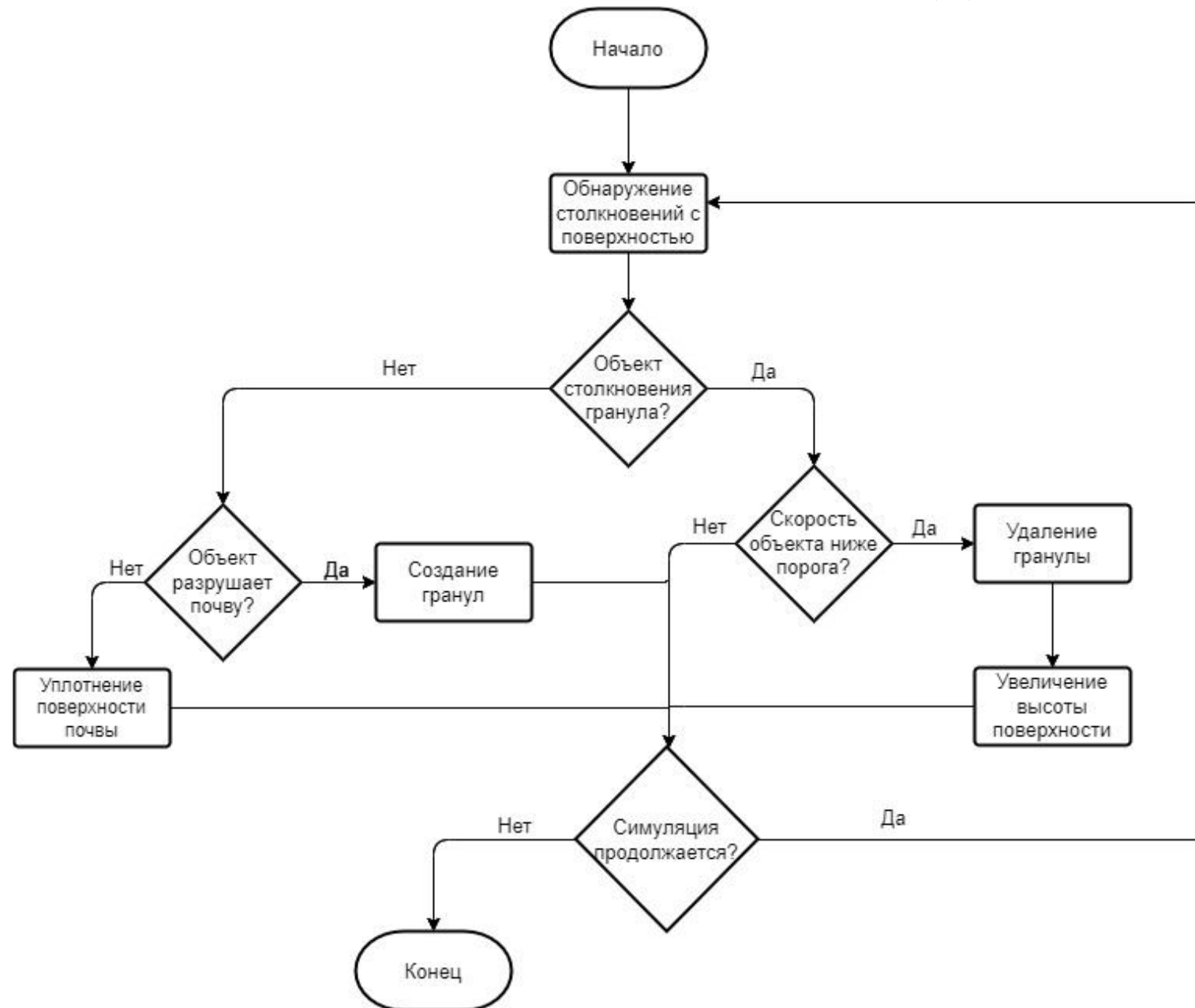
Метод дискретных элементов (гранул)



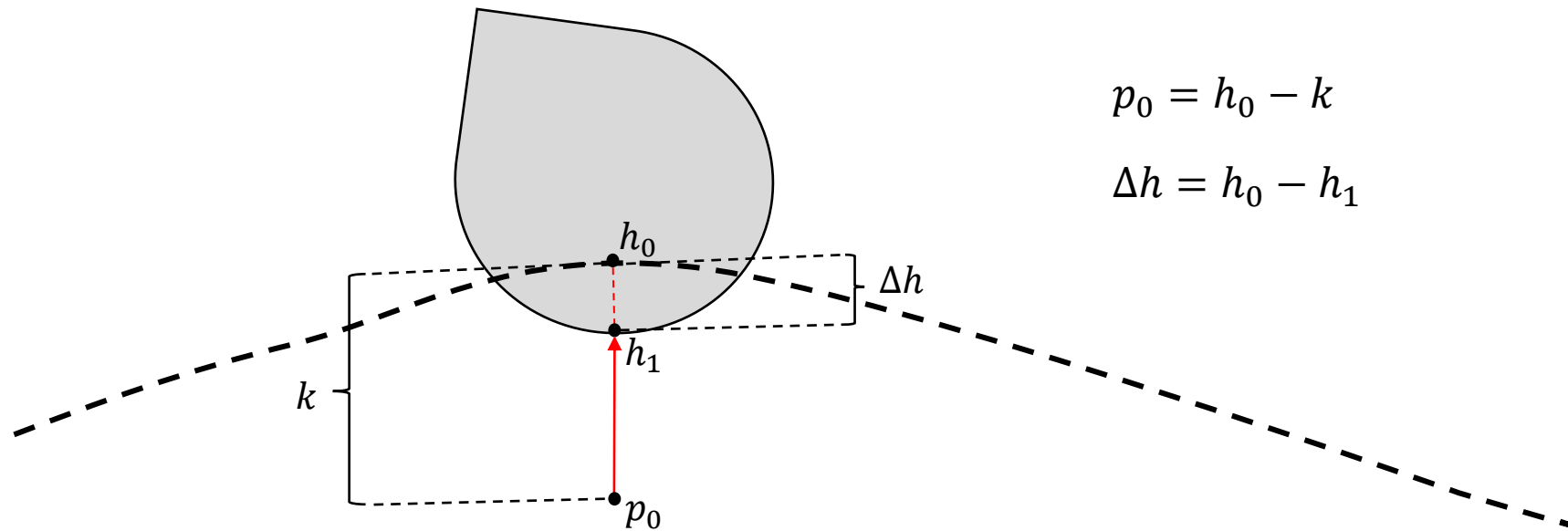
UNITY TERRAIN



БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА РАБОТЫ МОДЕЛИ ПОЧВЫ



ОТСЛЕЖИВАНИЕ ТОЧЕК КАСАНИЙ

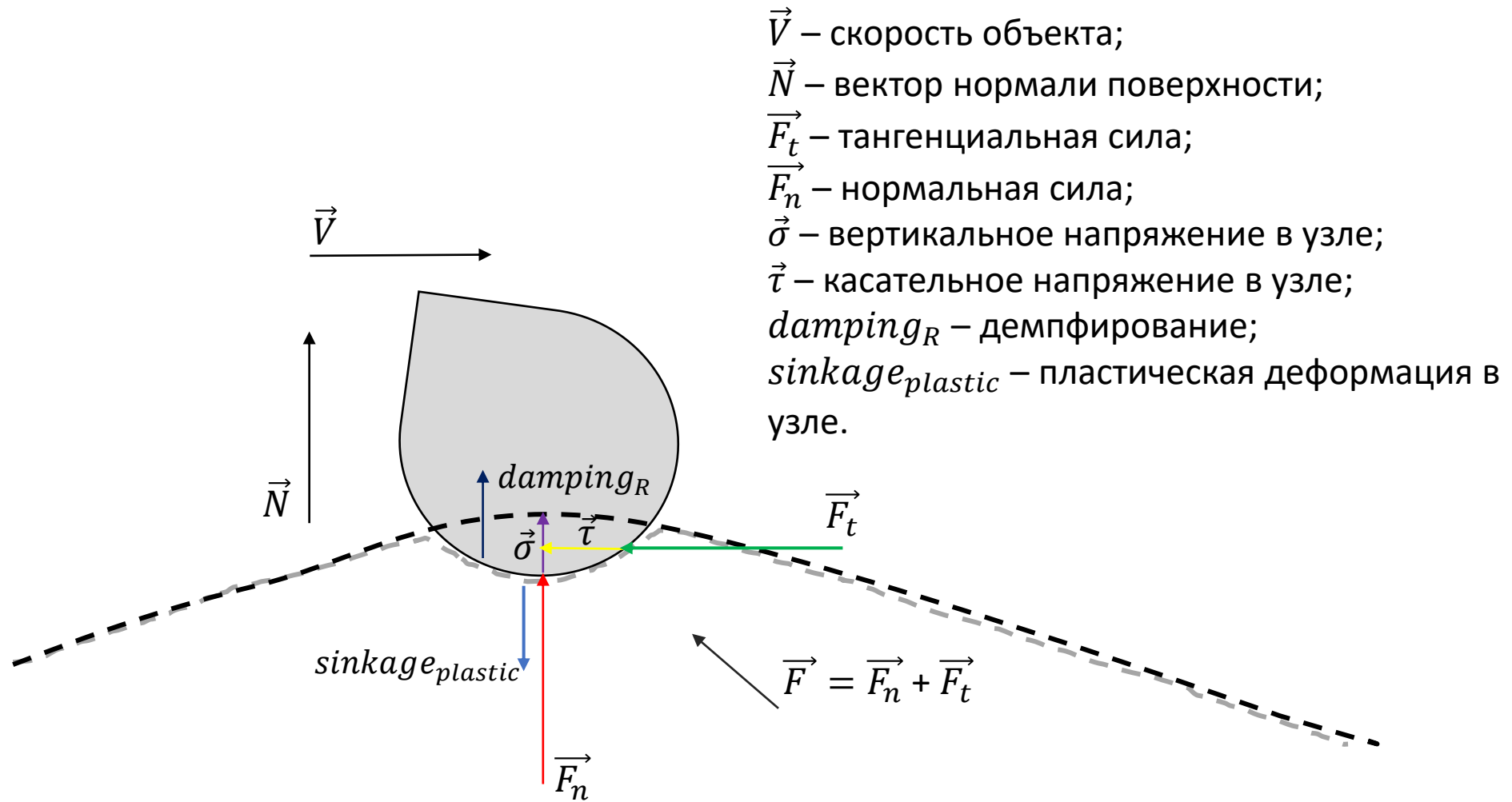


$$p_0 = h_0 - k$$

$$\Delta h = h_0 - h_1$$

Схема бросания луча в объект из поверхности почвы, где p_0 – высота инициализации луча, h_0 – высота вершины сетки почвы, h_1 – точка попадания луча в объект, Δh – высота погружения объекта в почву

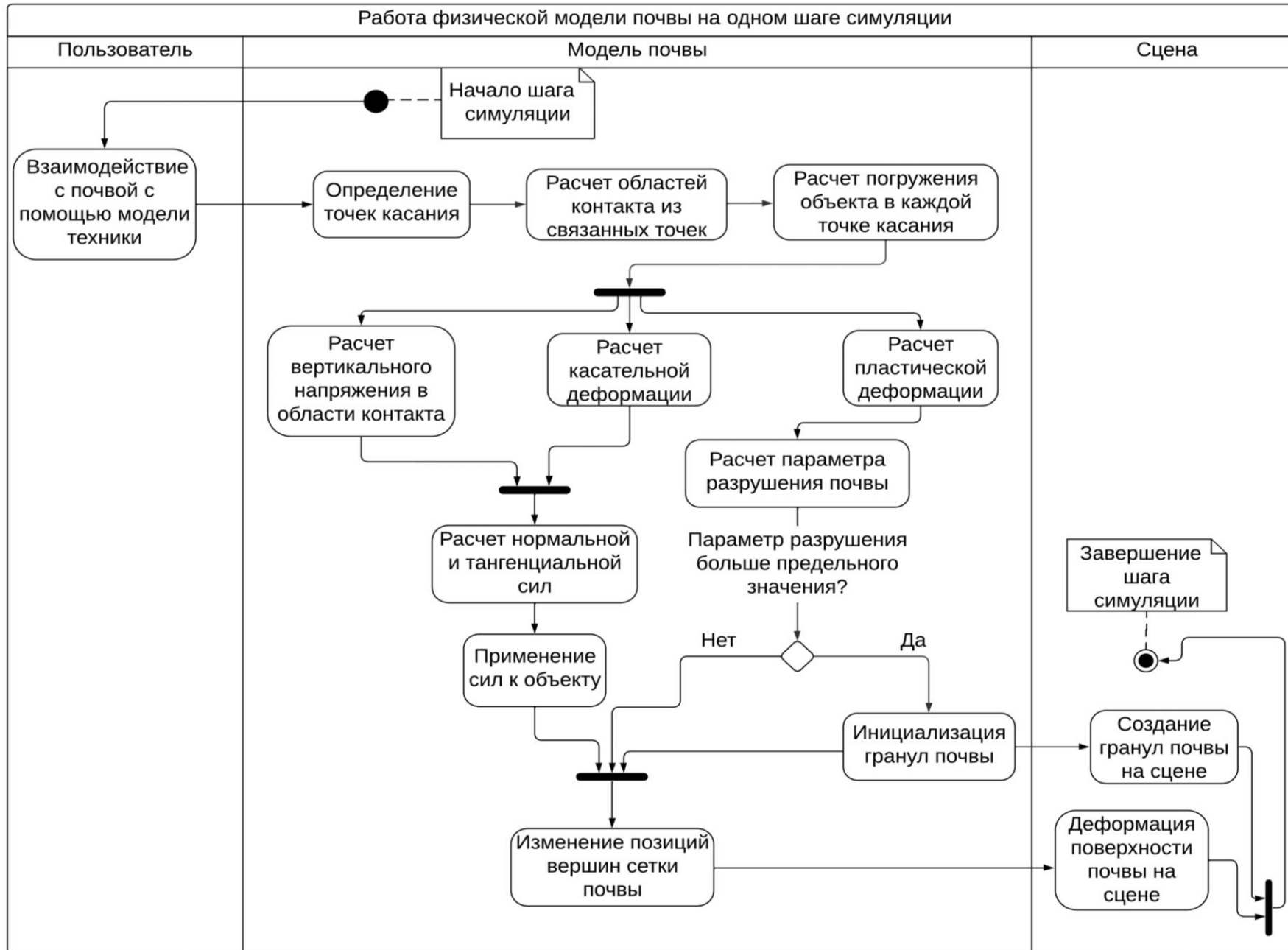
МОДЕЛЬ БЕККЕРА



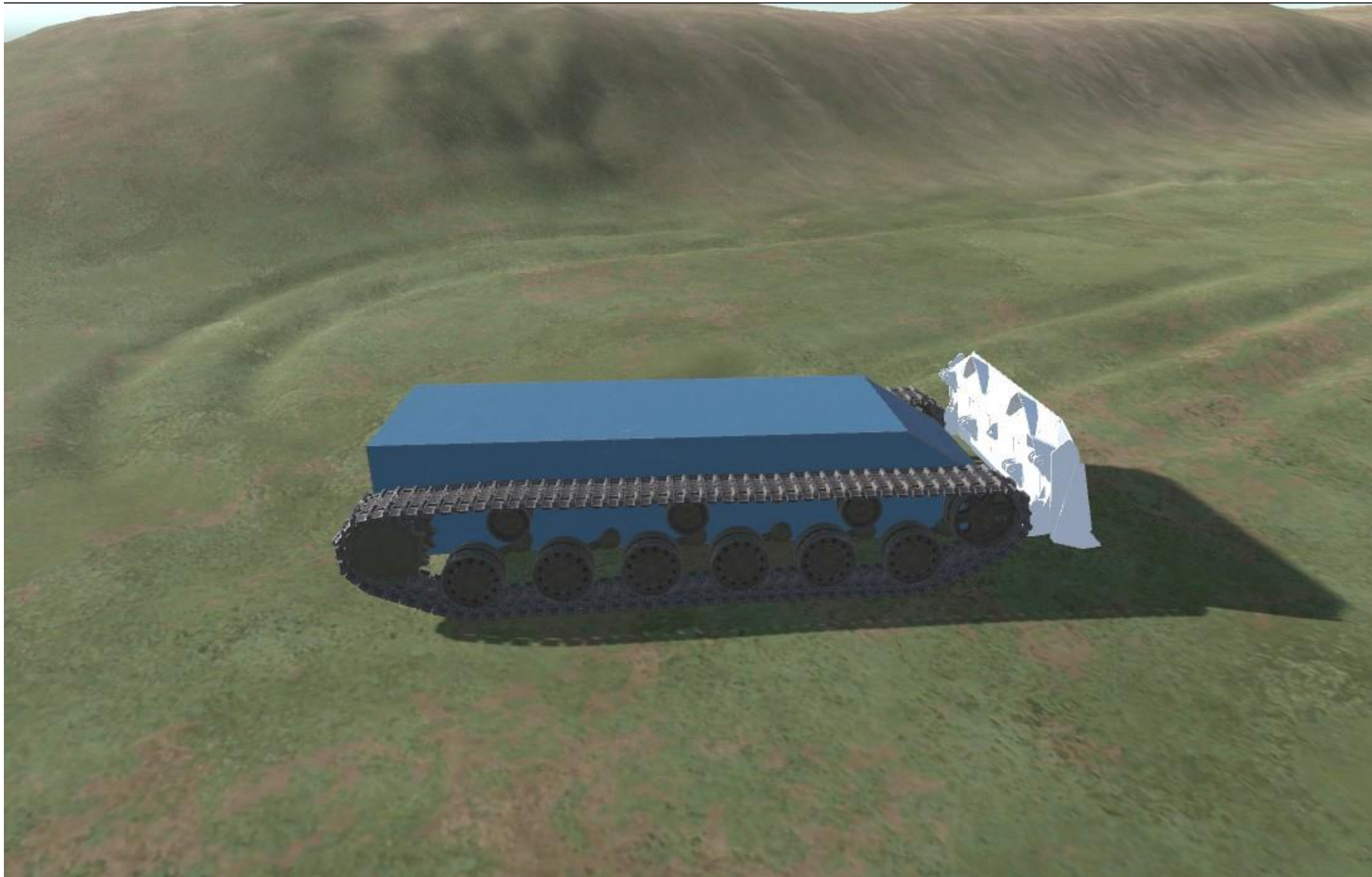
ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ БЕККЕРА

- 1) Bekker_Kphi: коэффициент трения почвы (выражается в [Па/м]);
- 2) Bekker_Kc: коэффициент сцепления почвы (выражается в [Па/м]);
- 3) Bekker_n: экспоненциальный коэффициент модели;
- 4) Mohr_cohesion: коэффициент пластичного сцепления Мора (выражается в [Па]);
- 5) Mohr_mu: угол трения Мора (выражается в градусах);
- 6) Janosi_shear: коэффициент Яноши-Ханамото, определяющий изменение касательных напряжений (выражается в [м]);
- 7) Elastic_K: коэффициент упругости почвы (выражается в [Па/м]);
- 8) Damping_R: коэффициент демпфирования, то есть вертикального затухания почвы (выражается в [Па*с/м]).

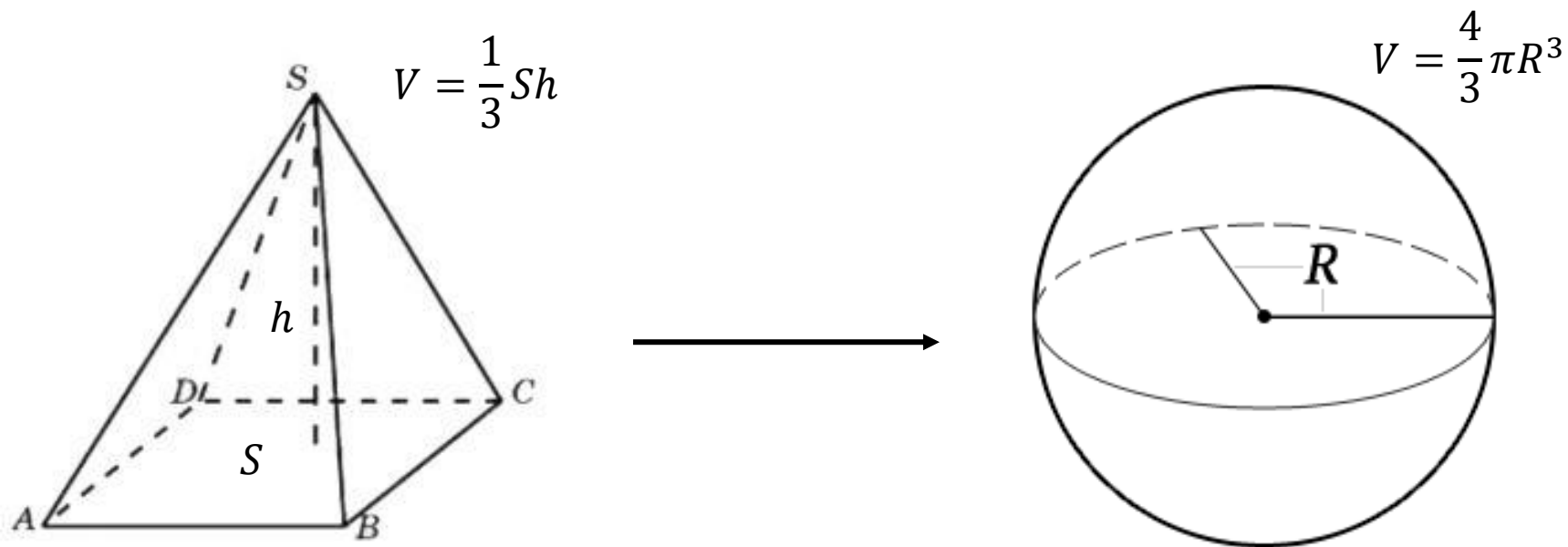
ДИАГРАММА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



СКРИНШОТ СИМУЛЯЦИИ ПОЧВЫ СО СЛЕДАМИ ОТ ГУСЕНИЦ



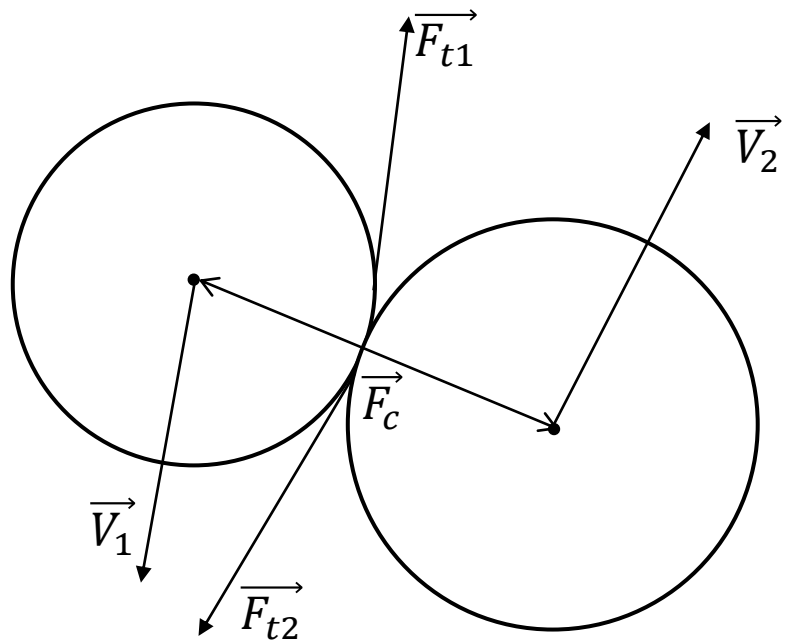
СОЗДАНИЕ ГРАНУЛ



h – высота пирамиды, равная величине погружения объекта в почву;
 S – площадь основания пирамиды, равная площади одной клетки сетки почвы

Объем создаваемой гранулы равен объему выкопанной (разрушенной) почвы

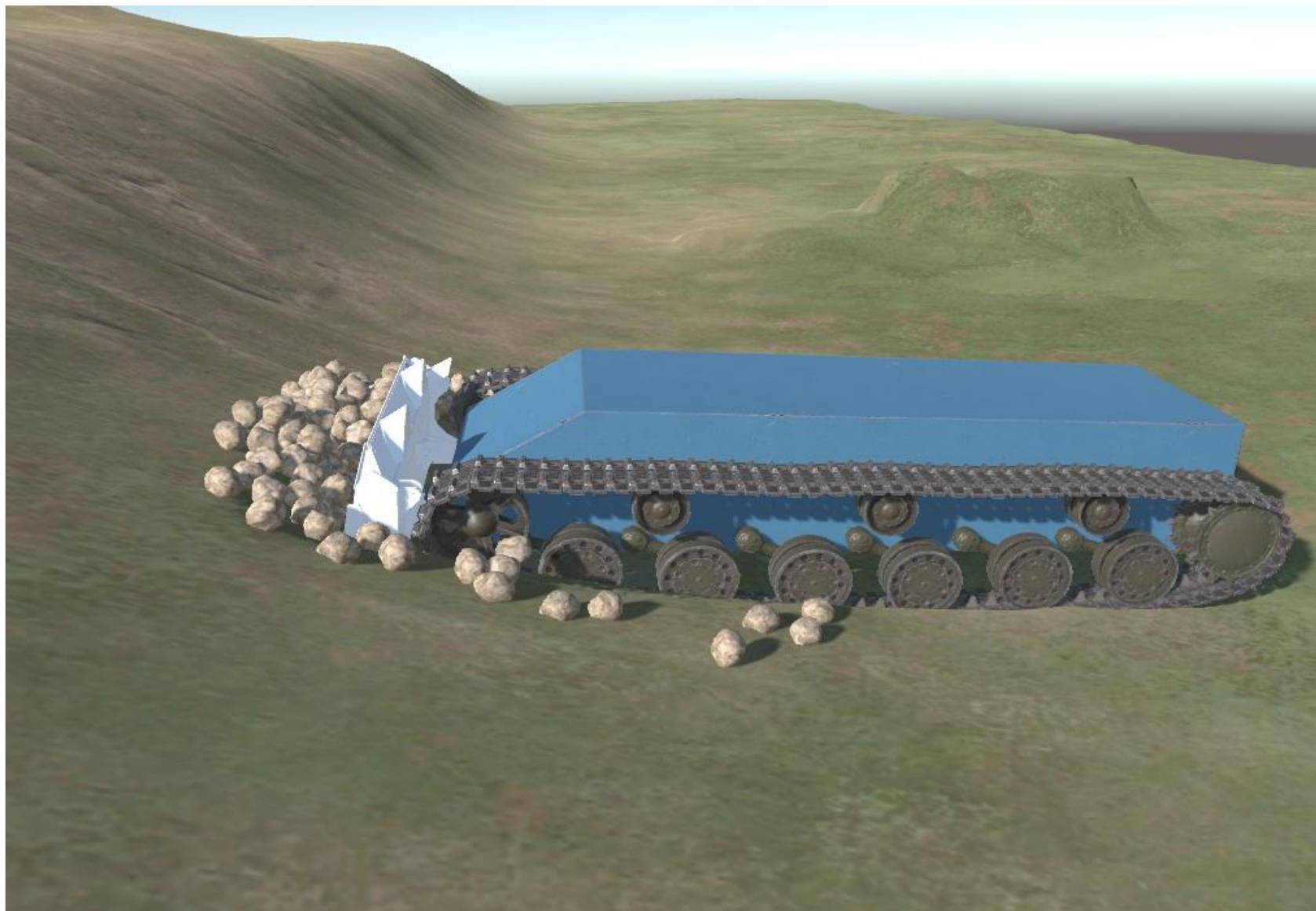
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГРАНУЛ



\vec{V}_1 – скорость первой гранулы;
 \vec{V}_2 – скорость второй гранулы;
 \vec{F}_{t1} – сила трения для первой гранулы;
 \vec{F}_{t2} – сила трения для второй гранулы;
 \vec{F}_c – сила сцепления гранул;

Столкновение двух гранул
с отображением их скоростей и сил

СКРИНШОТ СИМУЛЯЦИИ ПОЧВЫ В ПРОЦЕССЕ КОПАНИЯ



ВИЗУАЛІЗАЦІЯ НАГРУЗОК

```
Suspension_L_3: 5658,96 N
Suspension_R_3: 8686,45 N
RoadWheel_L_2: 0,00 N
Suspension_L_2: 4983,46 N
RoadWheel_R_2: 0,00 N
RoadWheel_L_1: 21,05 N
RoadWheel_R_1: 498,06 N
Suspension_L_1: 7297,84 N
Suspension_R_1: 13037,25 N
Suspension_R_2: 9001,43 N
Suspension_L_4: 229,19 N
Blade: 34145,41 N
Invisible_IdlerWheel_L: 0,00
N
RoadWheel_L_3: 0,00 N
Invisible_IdlerWheel_R: 0,00
N
MainBody: 0,00 N
Suspension_R_4: 8155,72 N
RoadWheel_R_3: 0,00 N
```

```
Suspension_L_3: 2715,10 N
Suspension_R_3: 1025,00 N
RoadWheel_L_2: 0,00 N
Suspension_L_2: 1787,46 N
RoadWheel_R_2: 0,00 N
RoadWheel_L_1: 0,00 N
RoadWheel_R_1: 0,00 N
Suspension_L_1: 5635,99 N
Suspension_R_1: 1635,31 N
Suspension_R_2: 1828,97 N
Suspension_L_4: 3043,08 N
Blade: 9751,75 N
RoadWheel_R_3: 0,00 N
RoadWheel_L_3: 0,00 N
RoadWheel_L_4: 0,00 N
Invisible_IdlerWheel_L: 0,00
N
RoadWheel_L_5: 0,00 N
RoadWheel_L_6: 0,00 N
Invisible_IdlerWheel_R: 0,00
N
MainBody: 0,00 N
Invisible_SprocketWheel_L:
0,00 N
Suspension_R_4: 174,70 N
RoadWheel_R_4: 0,00 N
RoadWheel_R_5: 0,00 N
```

ТЕСТИРОВАНИЕ

- Для проведения тестирования использовалось 7 различных видов почвы: песок, глина, гравий, торф, супесь, чернозем, крайне твердый грунт.
- Для каждого типа были настроены различные параметры модели.
- Каждый тип почвы сравнивался с реальным поведением этого типа почвы.
- Все созданные типы почвы успешно прошли проверку.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Произведен обзор литературы и существующих решений по предметной области.
- Спроектирована и реализована модель деформируемой поверхности в физическом движении.
- Спроектирована и реализована гранулированная модель почвы для имитации разрушения почвы в физическом движении.
- Реализован расчет и вывод нагрузок на взаимодействующие с почвой тела.
- Проведено тестирование модели на основе изменения различных параметров почвы.