

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

# САД- И САЕ-СИСТЕМЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
15.03.03 «Прикладная механика»  
очной формы обучения*



Могилев 2024

УДК 004.896:65.011.56  
ББК 32.965  
С11

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «б» марта 2024 г.,  
протокол № 8

Составитель д-р техн. наук, проф. М. Е. Лустенков

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. Н. Хатетовский

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для  
студентов направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» очной  
формы обучения.

Учебное издание

## САД- И САЕ-СИСТЕМЫ

Ответственный за выпуск	А. П. Прудников
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2024

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование движения материальной точки под действием силы тяжести.....	5
1.1 Цель работы и постановка задачи.....	5
1.2 Моделирование свободного падения твердого тела без учета сил сопротивления в системе MSC.ADAMS.....	5
1.3 Аналитическое решение поставленной задачи.....	17
1.4 Задания для моделирования и расчета и составление отчета по работе.....	19
Контрольные вопросы.....	20
2 Лабораторная работа № 2. Исследование движения материальной точки в плоскости.....	21
2.1 Цель работы и постановка задачи.....	21
2.2 Моделирование движения тела, пущенного с начальной скоростью под углом к горизонту в системе MSC.ADAMS.....	21
2.3 Аналитическое решение поставленной задачи.....	37
2.4 Задания для моделирования и расчета и составление отчета по работе.....	41
Контрольные вопросы.....	41
Список литературы.....	42

## Введение

Лабораторные работы по дисциплине «CAD- и CAE-системы» позволяют закрепить теоретические знания, полученные на лекциях. В освоении САПР-систем мирового уровня их роль является ключевой. В процессе выполнения лабораторных работ студент приобретает навыки практического освоения САПР и применения полученных компетенций для решения производственных задач.

В качестве САПР для указанного курса выбраны системы MSC.ADAMS и Siemens NX. Изучаемый блок View системы MSC.ADAMS [1, 2] позволяет моделировать сложные механические системы с целью исследования их динамики. Таким образом, задачи, рассматриваемые в курсах теоретической механики, теории машин и механизмов, могут обрести визуализацию. В рекомендациях рассматриваются версии программы 2017–2020 гг.

Ход выполнения лабораторной работы следующий. Перед началом занятий рекомендуется ознакомиться с лекционным материалом. Первоначально необходимо изучить поставленную задачу. После выполнения операций моделирования по примеру, приведенному в методических рекомендациях, необходимо получить задание на моделирование у преподавателя согласно выданному варианту. После получения результатов виртуальных вычислений по своему варианту рекомендуется решить поставленную задачу аналитически для сопоставления и оценки достоверности результатов. При защите лабораторной работы необходимо ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце методических рекомендаций.

# 1 Лабораторная работа № 1. Исследование движения материальной точки под действием силы тяжести

## 1.1 Цель работы и постановка задачи

**Цель работы:** изучение возможностей системы MSC.ADAMS при решении задач динамики материальной точки.

**Постановка задачи.** Тело сферической формы (с радиусом  $r = 50$  мм) и массой  $m = 1$  кг падает под действием собственного веса (рисунок 1.1) из состояния покоя (начальная скорость равна нулю). В исходном положении центр масс тела (cm) совпадает с началом системы координат  $O$  неподвижной системы отсчета  $XOY$ . Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить величину пройденного пути, скорость и ускорение тела через 1 с после начала движения.

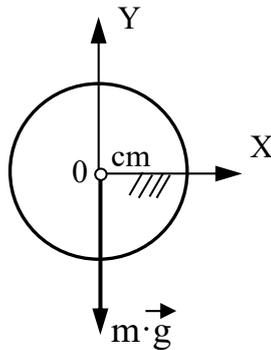


Рисунок 1.1 – Схема начального положения тела

Таким образом, с точки зрения теоретической механики рассматривается вторая задача динамики, когда при известных массе и действующих на тело силах необходимо определить траекторию его движения.

Учтем, что рассматриваем движение абсолютно твердого тела и в приведенном случае динамика тела сводится к динамике материальной точки. В качестве такой точки наблюдаем движение центра масс тела [3].

## 1.2 Моделирование свободного падения твердого тела без учета сил сопротивления в системе MSC.ADAMS

*Создание новой модели.*

1 Запускаем программу MSC.ADAMS/View, используя иконку на рабочем столе или меню Пуск (Adams View).

2 В появившемся диалоговом окне (рисунок 1.2) выбираем создание новой модели (New Model), нажав на значок .

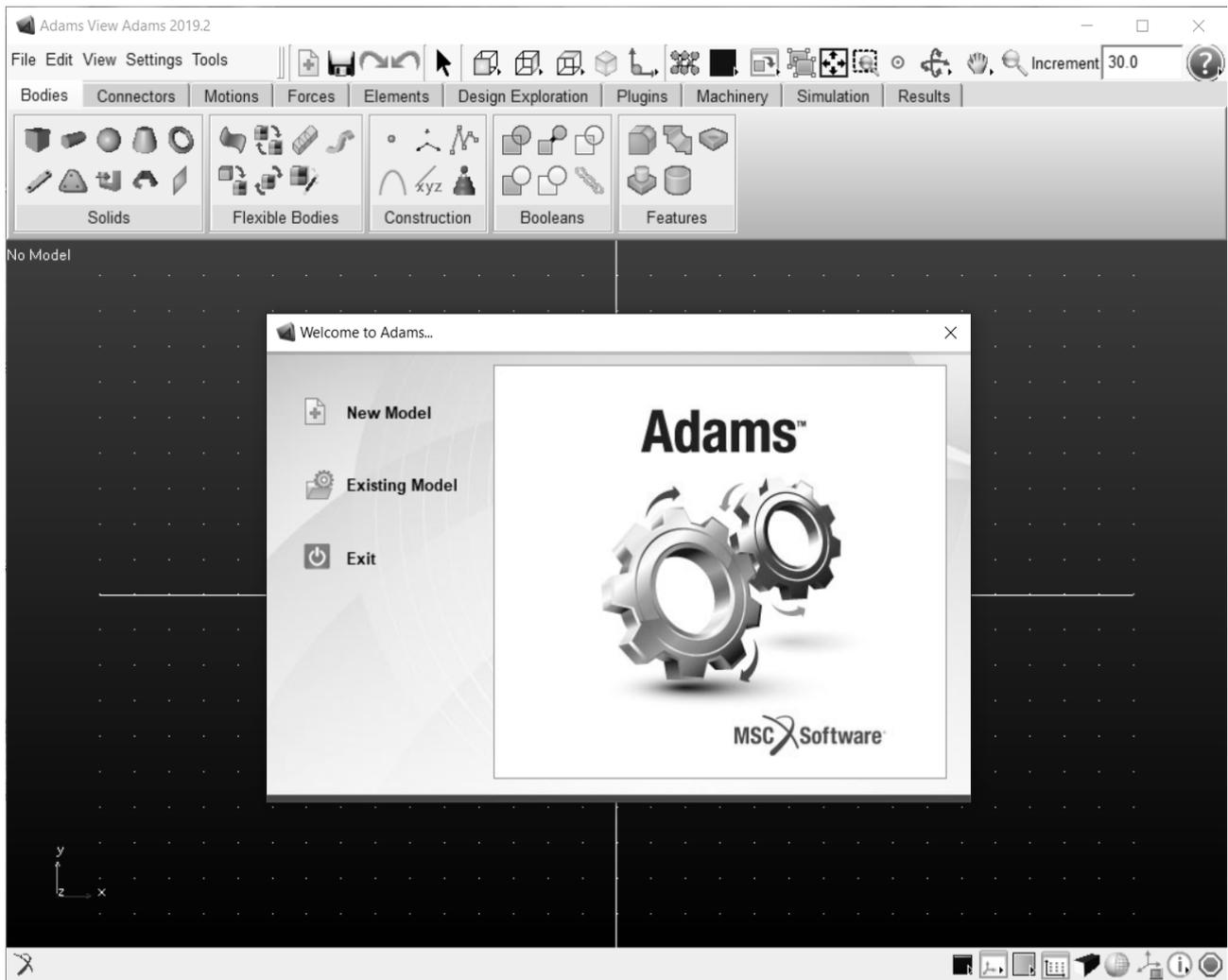


Рисунок 1.2 – Создание новой модели

3 В появившемся диалоговом окне сперва устанавливаем рабочую папку (Working Directory) для хранения данных. Учитываем, что путь к папке и ее наименование не должны содержать кириллицы и пробелов.

4 Вводим имя модели в верхнем поле Model Name: вместо MODEL1 записываем Projectile.

5 Убеждаемся, что в поле гравитации (Gravity) выбрано направление, нормальное к земной поверхности, сила тяжести направлена по оси Y в глобальной системе координат в ее отрицательном направлении: Earth Normal (-Global Y). В поле единиц измерения должна быть установлена система MMKS со следующими единицами измерения: mm, kg, N, s, deg (рисунок 1.3).

Жмем ОК.

6 Предполагается, что будем вставлять тело в определенное место (точку) рабочей части экрана. Чтобы визуально наблюдать положение тела, делаем активным координатное окно (Coordinate Window). В главном меню во вкладке Вид (View) указываем команду Coordinate Window (рисунок 1.4).

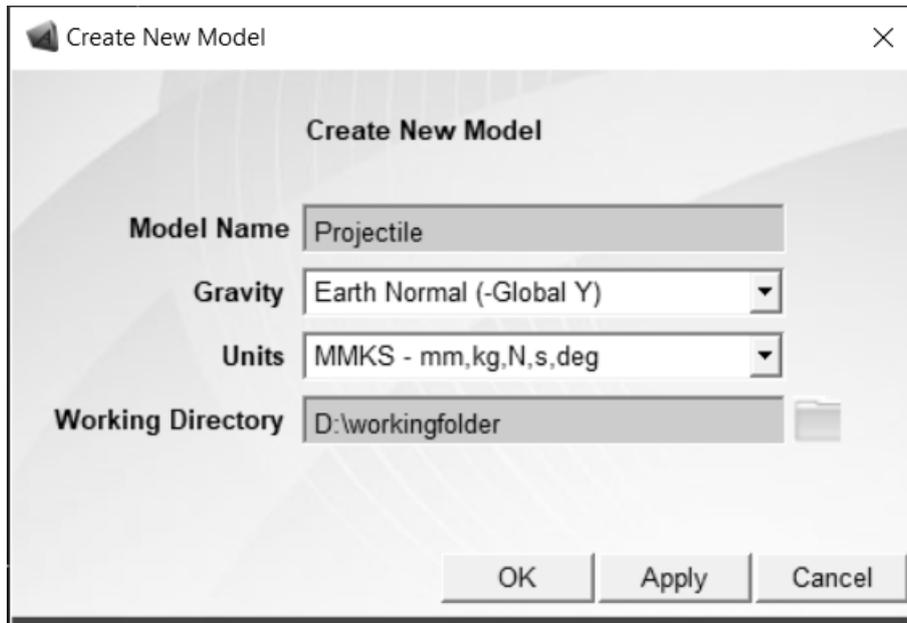


Рисунок 1.3 – Установка параметров модели

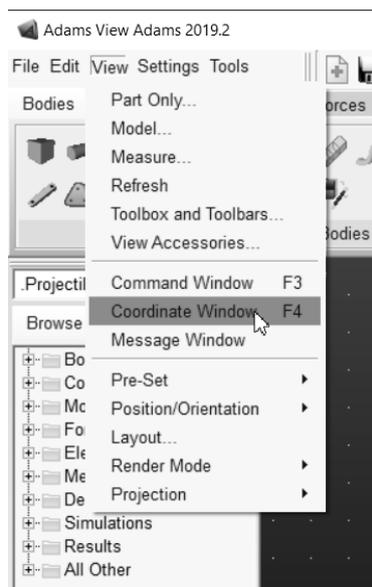


Рисунок 1.4 – Активация координатного окна

Координатное окно показывает положение курсора в рабочей области программы. Зажав левой клавишей мыши заголовок окна, его можно перетащить в удобное место.

7 В главном меню выбираем вкладку тел (Bodies) и указываем на сферу, представляющую собой абсолютно жесткое (недеформируемое) тело: Rigid Body:Sphere (рисунок 1.5). Слева на панели навигатора возникает диалоговое окно параметров геометрии (рисунок 1.6). Соглашаемся по умолчанию, что сфера является новым элементом (New Part), отмечаем галочкой радиус (Radius), который будем задавать. Устанавливаем радиус, равный 50 мм. Размер остается в скобках, не забываем изменить единицы измерения (mm на cm), если необходимо.

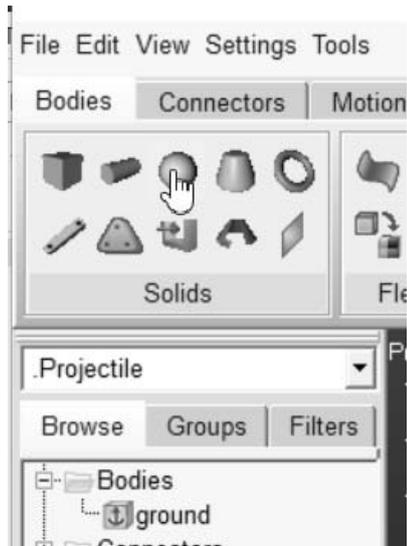


Рисунок 1.5 – Вставка сферы в модель

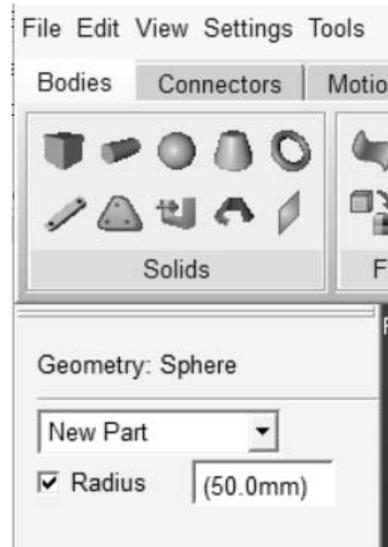


Рисунок 1.6 – Установка параметров сферы

В рабочей области экрана перемещаем курсор. Вместе с курсором движется окружность, ограничивающая сферу. По координатному окну следим за тем, чтобы точка вставки центра сферы совпадала с началом глобальной системы отсчета и имела координаты (0; 0; 0). Эти координаты могут подсветиться рядом с курсором. Жмем левую кнопку мыши.

Для удобства восприятия модели изменяем цвет фона рабочей области либо в главном меню активируем вкладку Settings и команду View Background Color... .

В появившемся диалоговом окне редактирования цвета фона (рисунок 1.7) левой кнопкой мыши выбираем белый цвет. Он появляется в окне как новый (New) по сравнению с текущим (Current). Убираем галочку в окне градиента (Gradient), жмем ОК. Результат моделирования показан на рисунке 1.8.

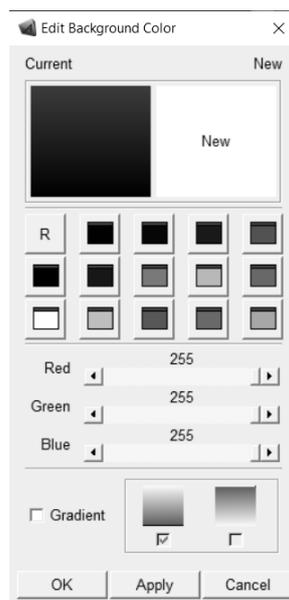


Рисунок 1.7 – Изменение фона рабочей области

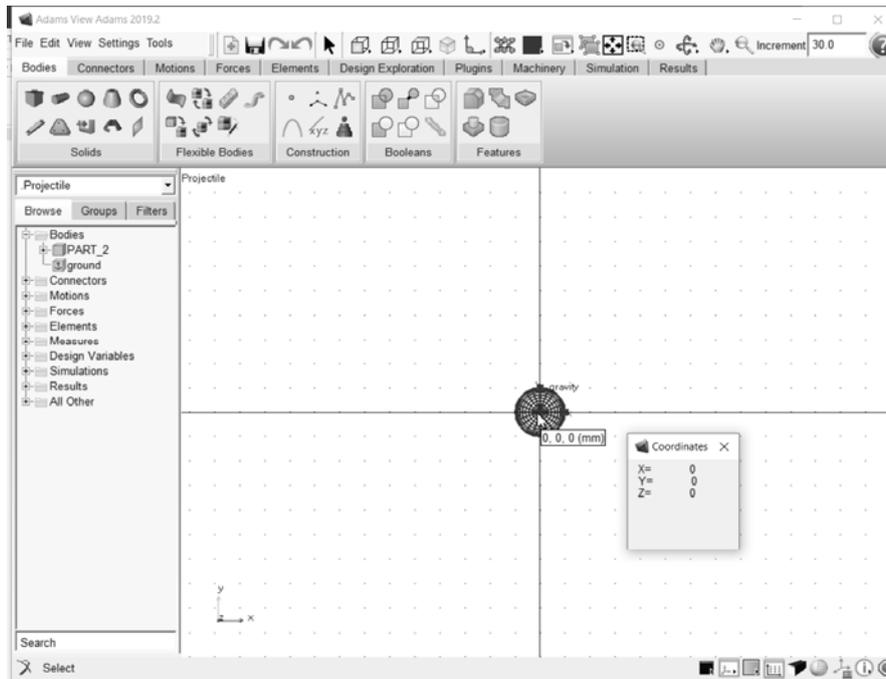


Рисунок 1.8 – Моделирование сферы

8 Изменяем имя элемента (сферы). По умолчанию программа присвоила сфере имя PART\_2, т. к. первый неподвижный элемент (земля, стойка), с которым связана глобальная система отсчета, создается автоматически. Для этого в навигаторе модели слева в обзорной вкладке (Browse) в развернутой строке тел (Bodies) нажимаем правой клавишей мыши на наименование элемента PART\_2 и в появившемся меню выбираем команду переименования (Rename) (рисунок 1.9).

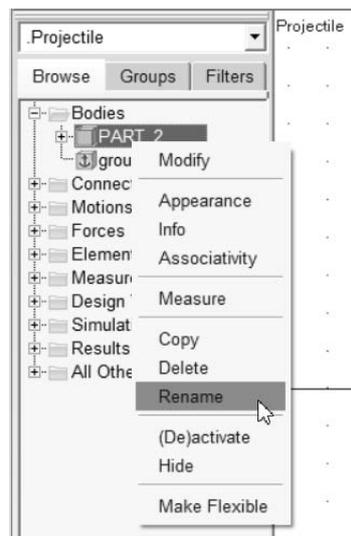


Рисунок 1.9 – Переименование элемента

В диалоговом окне переименования в строке нового имени (New Name) заменяем PART\_2 на stone (камень) (рисунок 1.10). Наименование модели (Projectale) перед именем элемента оставляем. Ждем ОК.

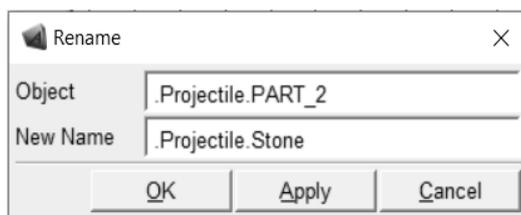


Рисунок 1.10 – Диалоговое окно с новым именем

9 Устанавливаем массу камня. Действуем аналогично предыдущему пункту. В навигаторе модели слева в обзорной вкладке (Browse) в развернутой строке тел (Bodies) нажимаем правой клавишей мыши на наименование элемента Stone и в появившемся меню выбираем команду изменения (Modify) (рисунок 1.11).

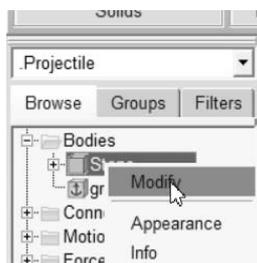


Рисунок 1.11 – Изменение параметров камня

В появившемся диалоговом окне (рисунок 1.12, а) ищем строку способа определения массы (Define Mass By). В ней указано автоматическое вычисление массы по объему и плотности (Geometry And Material Type), причем в строке типа материала (Material Type) по умолчанию установлена сталь.

Меняем способ определения массы на задание пользователем (User Input) (рисунок 1.12, б). Вводим массу, равную 1,0 кг. Другие параметры, например моменты инерции ( $I_{xx}$ ,  $I_{yy}$ ,  $I_{zz}$ ), оставляем без изменений. На решение данной задачи они не окажут влияния. Жмем ОК.

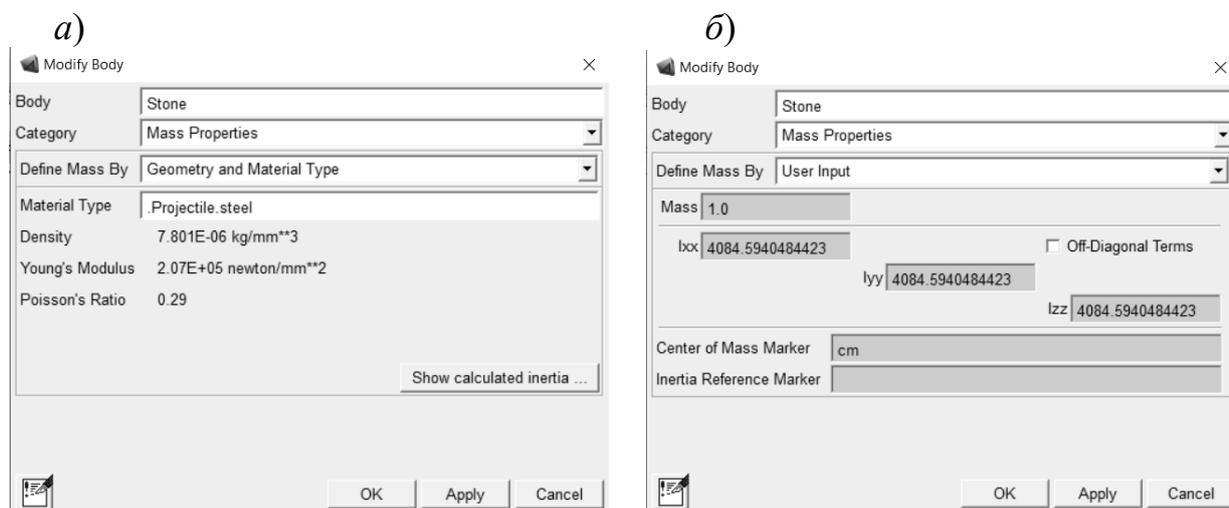


Рисунок 1.12 – Задание массы камня

10 Создаем средство измерения (measure). В навигаторе модели слева в обзорной вкладке (Browse) в развернутой строке тел (Bodies) нажимаем правой клавишей мыши на наименование элемента Stone и в появившемся меню выбираем команду измерений (Measure) (рисунок 1.13).

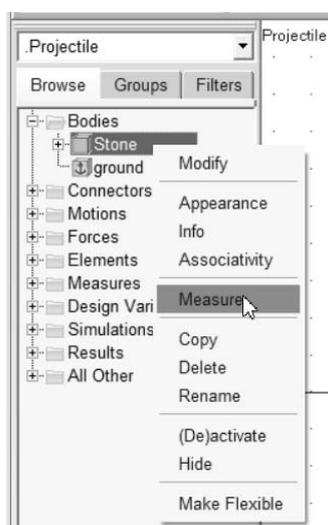


Рисунок 1.13 – Создание средства измерений

В появившемся диалоговом окне измерений параметров элемента (Part Measure) (рисунок 1.14) в первой строке записываем имя измерений: Displacement (Перемещение). В третьей строке выбираем из выпадающего меню скорость центра масс тела (CM position). Отмечаем нужную составляющую скорости (Component): Y, т. к. перемещение центра масс тела происходит вдоль оси ординат. Отмечаем галочкой в левом нижнем углу поле со строкой Create Strip Chart. Это позволит создать график требуемого измерения сразу при закрытии диалогового окна. Жмем ОК. На экране появится первый, пока еще «пустой», график.

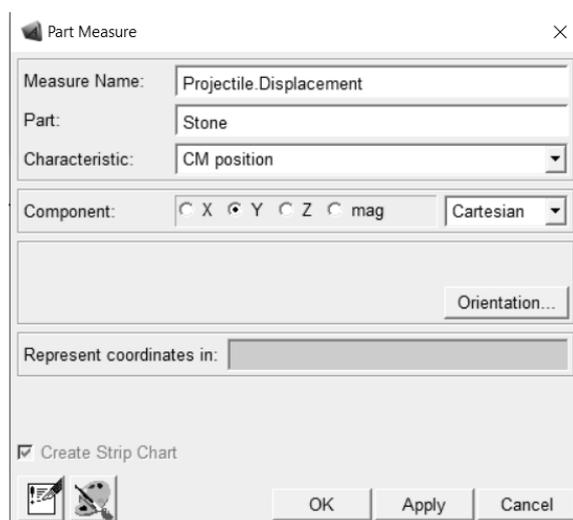


Рисунок 1.14 – Установление параметров измерения перемещения

Продельваем еще раз аналогичную процедуру создания средства измерения, рассмотренную в предыдущих абзацах п. 10. Только в диалоговом окне (рисунок 1.15) наименование измерений указываем как ускорение (Velocity), а в качестве характеристики выбираем ускорение центра масс (CM velocity). Жмем ОК. Появляется второй график.

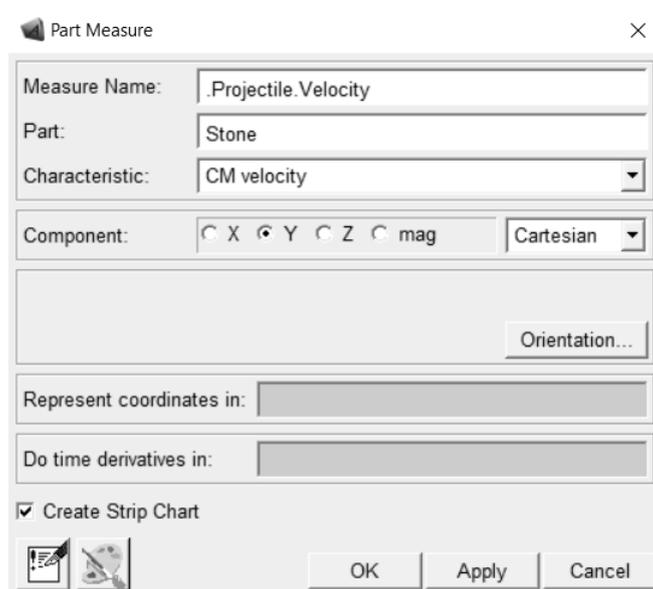


Рисунок 1.15 – Установление параметров измерения скорости

Продельваем рассмотренную процедуру третий раз. В диалоговом окне (рисунок 1.16) наименование измерений указываем как ускорение (Acceleration), а в качестве характеристики выбираем ускорение центра масс (CM acceleration). Жмем ОК. Появляется третий график.

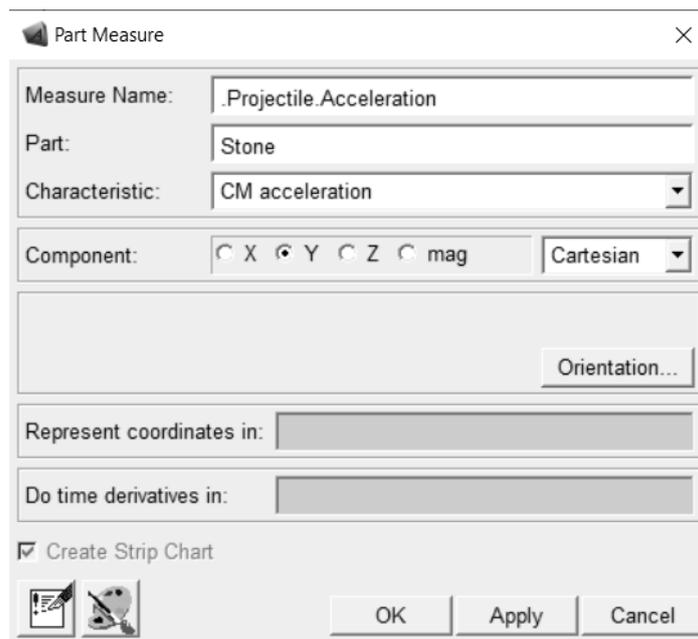


Рисунок 1.16 – Установление параметров измерения ускорения

11 Проводим верификацию модели, т. е. ее проверку. При этом программа проверяет модель на наличие незакрепленных элементов, неправильно установленных шарниров, элементов без заданных масс в динамической системе, а также предупреждает о возможных проблемах при анализе результатов.

Для этого в правом нижнем углу программы в строке статуса (Status Bar) из нескольких пиктограмм выбираем значок Информация (Information) , жмем по нему правой клавишей мыши и в выпадающем меню вариантов выбираем инструмент проверки модели (Verify) .

В появившемся информационном окне (рисунок 1.17) можно получить информацию о том, сколько степеней свободы содержит модель, сколько в ней движущихся элементов и т. д.



Рисунок 1.17 – Результаты верификации созданной модели

Нижняя строка свидетельствует о том, что модель проверена (верифицирована) успешно. Закрываем информационное окно.

12 Производим запуск симуляции. Предварительно масштабируем экран так, чтобы увидеть движение тела. Для этого используем инструменты, расположенные на верхней строчке вместе с главным меню: зуммирование (приближение и отдаление)  и перемещение . Нажав на одну из этих пиктограмм, двигаем модель, зажав левую кнопку мыши. Альтернативным вариантом является использование так называемых «горячих» клавиш. Клавиша с буквой «z» – для зуммирования, «t» – для перемещения. Также двигаем графики и координатное окно для удобства наблюдения.

В результате модель, подготовленная для симуляции, должна выглядеть примерно, как на рисунке 1.18.

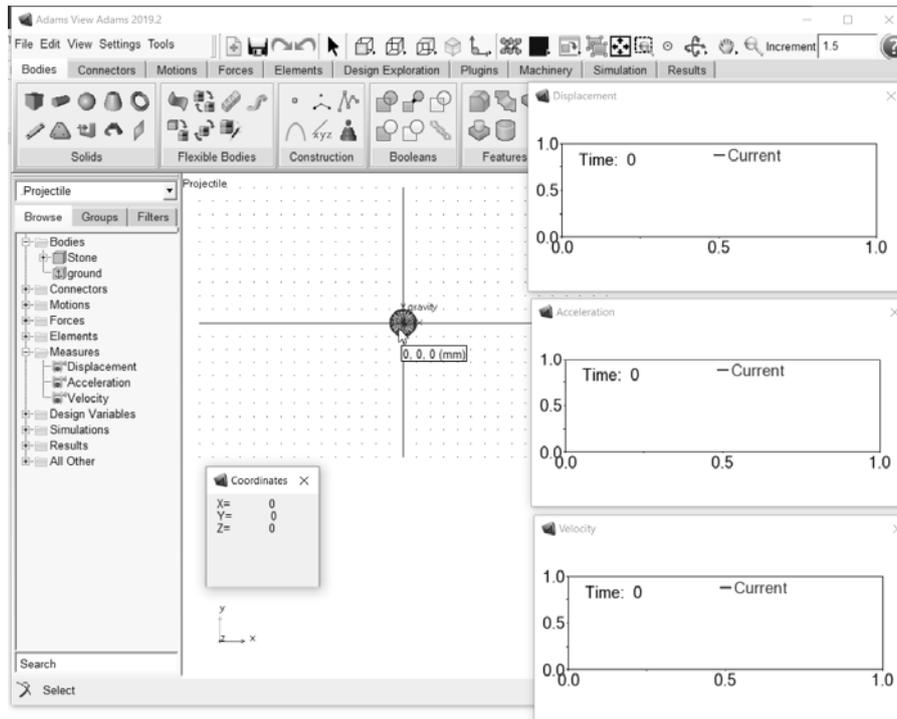


Рисунок 1.18 – Примерный вид модели перед симуляцией

На панели инструментов заходим на вкладку симуляции (Simulation). Выбираем инструмент запуска интерактивной симуляции (Run an Interactive Simulation) . В появившемся диалоговом окне (рисунок 1.19) устанавливаем в строке конечного времени симуляции (End Time) 1 с, количество шагов (Steps): 50.

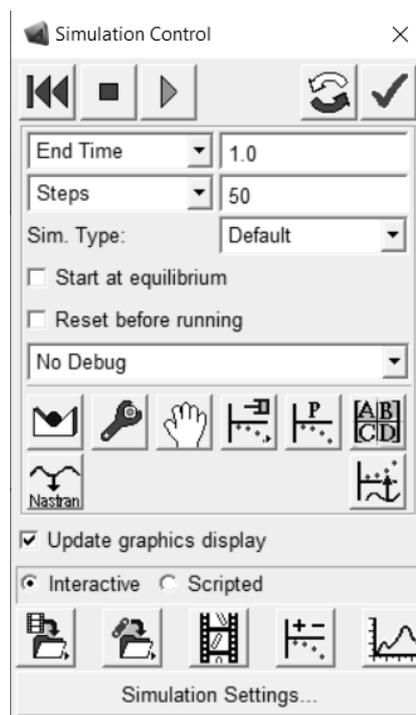


Рисунок 1.19 – Установка параметров симуляции

Жмем инструмент Play  и наблюдаем свободное падение камня. Когда процесс завершится, нажимаем кнопку Reset  для возвращения камня в исходное состояние.

В результате будут построены три графика (рисунок 1.20). Их построение производится в реальном времени симуляции.

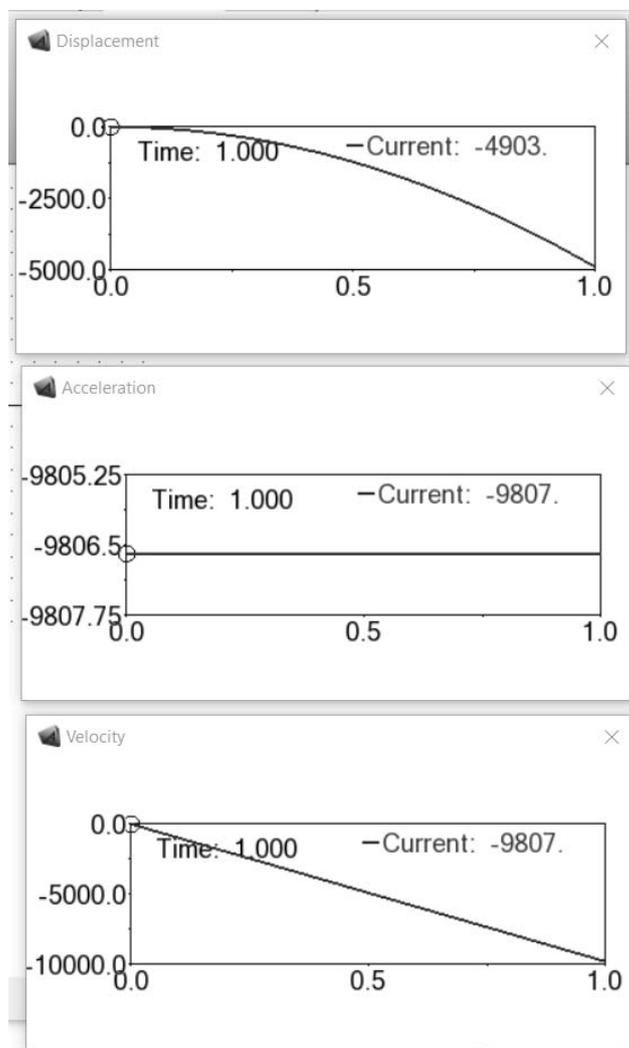


Рисунок 1.20 – Графики перемещения, скорости и ускорения центра масс камня

13 Находим значения перемещения, скорости и ускорения центра масс камня после падения после истечения 1 с с его начала.

Рассматриваем график перемещений (Displacement) (верхний на рисунке 1.20). Щелкаем правой кнопкой мыши по пустому полю внутри графика. Раскрываем появившееся наименование листа Plot: sch1 и выбираем преобразование графика в полный экран в отдельном окне: Transfer To Full Plot. При этом входим из Adams/View в Adams/PostProcessor. Под главным меню располагается панель инструментов, где выбираем инструмент отслеживания графика (Plot Tracking Tool) .

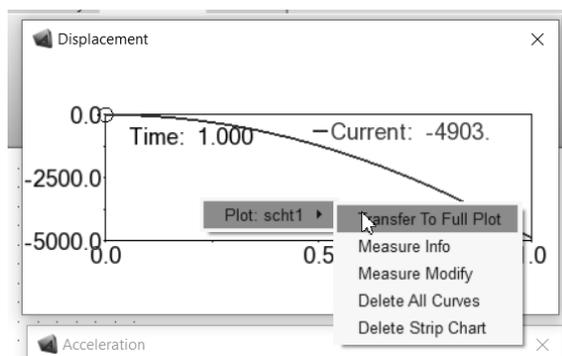


Рисунок 1.21 – Переход на отдельный лист графика

Перемещаем курсор по графику в крайнюю правую точку (рисунок 1.22). При этом совместно с точкой (кружком) на графике движется вертикальная линия, отмечая время на оси абсцисс, и изменяются значения параметров, расположенные под панелью инструментов.

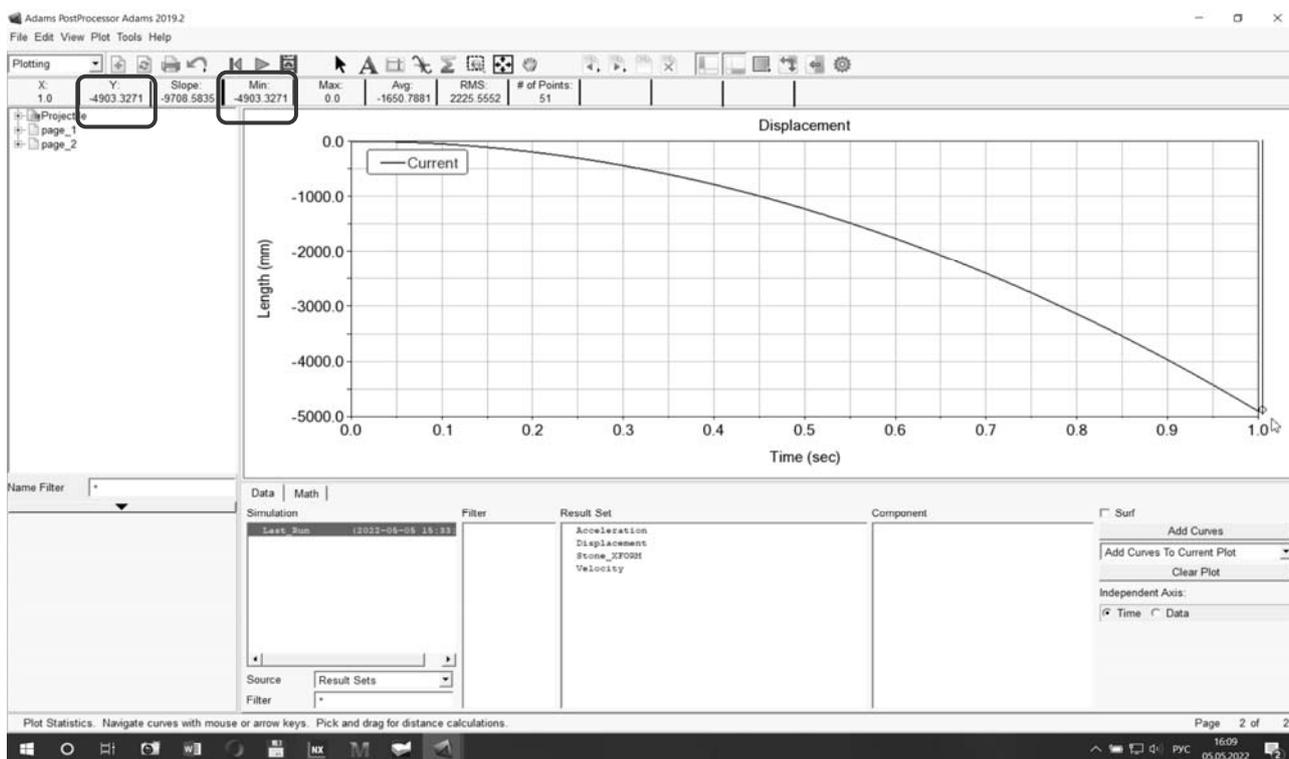


Рисунок 1.22 – Исследование графика перемещений

Крайняя правая точка соответствует положению камня в момент времени 1 с с момента начала свободного падения. При этом в строке параметров ордината  $Y$  и ее минимальное значение (Min) (см. рисунок 1.22) и будут являться тем перемещением, которое ищем.

Для нахождения скорости камня в нижней части окна ставим галочку рядом со строкой Surf для переключения между графиками в одном окне. В строке источника (Source) выбираем измерения (Measures), а в соседнем справа окошке – скорость (Velocity) (рисунок 1.23). После этого автоматически отображается график скорости.



Рисунок 1.23 – Переход к другим графикам

Также с использованием инструмента Plot Tracking и численных значений параметров под панелью инструментов определяем скорость при времени  $t = 1$  с.

В окне измерений (Measure) отмечаем ускорение (Acceleration) и исследуем его график. Находим искомое ускорение тела при времени  $t = 1$  с.

14 Сохраняем модель. Для этого в главном меню выбираем File – Save Database (рисунок 1.24). Модель сохранится как Projectile.bin.

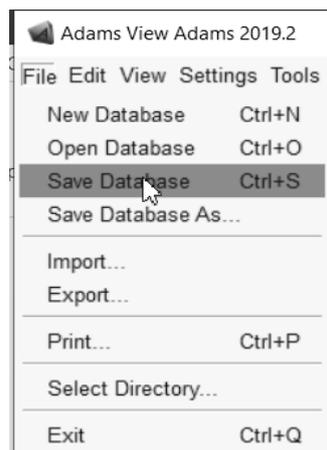


Рисунок 1.24 – Сохранение модели

Для сохранения модели с другим именем и (или) изменения места расположения файла используем команду Save Database As... .

Если выбрать команду Export в меню File, то сохраним только модель (файл с расширением \*.cmd) без результатов симуляций.

### ***1.3 Аналитическое решение поставленной задачи***

Дано:  $m = 1$  кг,  $v_{y0} = 0$  м/с. Определить:  $y$ ,  $v_y$ ,  $a_y$  при времени  $t = 1$  с.

#### ***Решение***

Рассмотрим движение тела как движение материальной точки (центра масс тела). Расчетная схема задачи показана на рисунке 1.1.

Запишем основное уравнение динамики материальной точки (второй закон Ньютона):

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F},$$

где  $m$  – масса материальной точки, кг;

$\vec{a}$  – ускорение точки, м/с<sup>2</sup>;

$\sum \vec{F}$  – геометрическая сумма сил, действующих на точку.

Рассмотрим проекцию этого уравнения на ось ОУ:

$$m \cdot a_y = \sum F_y,$$

где  $a_y$  – проекция ускорения точки на ось ОУ;

$\sum F_x$  – сумма проекций сил на ось ОУ.

На точку действует только сила тяжести, равная  $m \cdot g$ , направленная вдоль оси ОУ. Учитывая, что сила тяжести направлена в сторону, обратную положительному направлению оси ОУ,

$$m \cdot a_y = -m \cdot g. \quad (1.1)$$

Сократив массу, получим значение ускорения, которое постоянно и не зависит от времени,

$$a_y = -g = -9,81 \text{ м/с}^2.$$

Поэтому, с учетом того, что ускорение – это первая производная от скорости, преобразовав уравнение (3.1), получим

$$m \cdot \frac{dv_y}{dt} = -m \cdot g.$$

Сократив массу,

$$\frac{dv_y}{dt} = -g.$$

Разделим переменные:

$$dv_y = -g \cdot dt.$$

Проинтегрируем правую и левую части (возьмем неопределенный интеграл):

$$\int dv_y = \int -g \cdot dt.$$

После интегрирования получим

$$v_y = -g \cdot t + C_1, \quad (1.2)$$

где  $C_1$  – постоянная интегрирования, зависящая от начальных условий.

Для определения постоянной интегрирования  $C_1$  подставим в правую часть начальные значения параметров, в левую – время  $t = 0$ . Получим

$$v_{y0} = -g \cdot 0 + C_1 \text{ или } C_1 = v_{y0} = 0.$$

Подставив  $C_1$  в проинтегрированное уравнение (1.2), получим

$$v_y = -g \cdot t = -9,81 \cdot 1 = -9,81 \text{ м/с}^2. \quad (1.3)$$

Для нахождения перемещения камня разделим переменные в уравнении (1.2) и проинтегрируем это выражение еще раз:

$$\frac{dy}{dt} = -g \cdot t + C_1;$$

$$\int dy = \int (-g \cdot t + C_1) \cdot dt;$$

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + C_1 \cdot t + C_2,$$

где  $C_2$  – вторая постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.

При  $t = t_0 = 0$  начальная координата  $y = y_0$ . Подставляя эти значения в уравнение, записанное ранее, получим  $C_2 = y_0 = 0$ , т. к. начальное положение тела совпадает с неподвижной системой отсчета.

С учетом начала движения из начала координат ( $y_0 = 0$ ), окончательно получим уравнение движения точки вдоль оси ОУ

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} = -\frac{9,81 \cdot 1^2}{2} = 4,905 \text{ м/с}^2. \quad (1.4)$$

Сравним рассчитанные значения  $y$ ,  $v_y$ ,  $a_y$  с теми, что были получены с помощью графиков программы.

### **1.4 Задания для моделирования и расчета и составление отчета по работе**

Исходные данные для моделирования и расчетов приведены в таблице 1.1. Схема является общей для всех и показана на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные для самостоятельной работы

Номер варианта	$m$ , кг	$r$ , мм	$t$ , с	Номер варианта	$m$ , кг	$r$ , мм	$t$ , с
1	1,7	60	1,4	9	2,3	75	1,3
2	1,8	65	1,5	10	1,7	105	2,0
3	1,9	100	1,6	11	1,6	55	2,1
4	2,1	90	1,8	12	2,0	45	1,9
5	1,6	95	1,7	13	1,5	115	2,2
6	1,5	70	1,3	14	1,9	120	2,4
7	2,2	80	1,2	15	1,6	125	0,9
8	2,4	85	1,1	16	1,8	110	0,8

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист, цель работы, исходные данные согласно таблице 1.1, зафиксированные параметры по результатам моделирования, расчеты согласно п. 3 и выводы по результатам работы. Кроме этого, студент должен представить разработанную модель на компьютере (ноутбуке).

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Изменяется ли ускорение тела при его свободном падении?
- 2 При сохранении модели в MSC.ADAMS\View с помощью команд File – Save Database какое расширение получит файл?
- 3 Сформулируйте вторую задачу динамики материальной точки.
- 4 Чему равно значение ускорения свободного падения при исследовании модели и в аналитических расчетах?
- 5 Назовите горячие клавиши для зуммирования и перемещения модели на экране.
- 6 Как можно найти максимальную высоту, которую достигнет камень во время полета?

## 2 Лабораторная работа № 2. Исследование движения материальной точки в плоскости

### 2.1 Цель работы и постановка задачи

**Цель работы:** изучение возможностей системы MSC.ADAMS при решении задач динамики материальной точки.

**Постановка задачи.** Тело сферической формы (с радиусом  $r = 150$  мм) и массой  $m = 2$  кг запущено вверх под углом к горизонту  $\alpha = 60^\circ$  с начальной скоростью  $v_0 = 6$  м/с (рисунок 2.1). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить время полета тела до соприкосновения с опорной плоскостью, дальность полета и максимальную высоту, на которую поднимется тело.

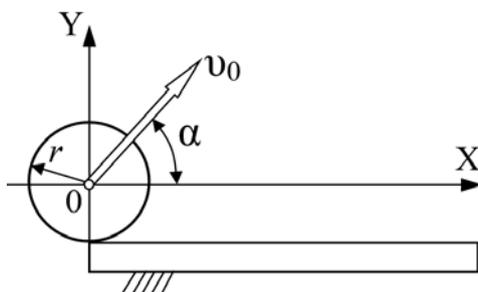


Рисунок 2.1 – Схема начального положения тела

Таким образом, с точки зрения теоретической механики рассматривается вторая задача динамики, когда при известных массе и действующих на тело силах необходимо определить траекторию его движения.

Учтем, что рассматриваем движение абсолютно твердого тела и в приведенном случае динамика тела сводится к динамике материальной точки. В качестве такой точки наблюдаем движение центра масс тела [3].

### 2.2 Моделирование движения тела, пущенного с начальной скоростью под углом к горизонту в системе MSC.ADAMS

#### 2.2.1 Создание нового файла модели и установка настроек программы.

Запускаем MSC.ADAMS/View нажатием левой кнопки мыши по иконке программы либо из меню Пуск Windows. Появится диалоговое окно (рисунок 2.1).

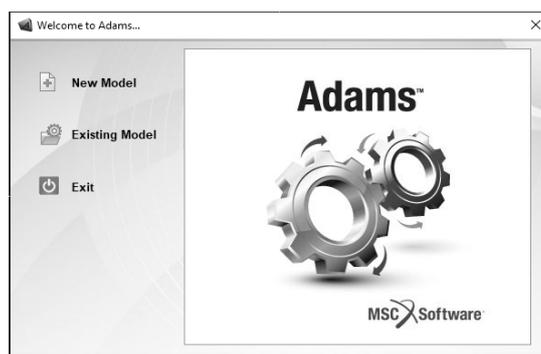


Рисунок 2.2 – Окно запуска программы

Выбираем создание новой модели (New Model). Появится диалоговое окно создания новой модели (рисунок 2.3).

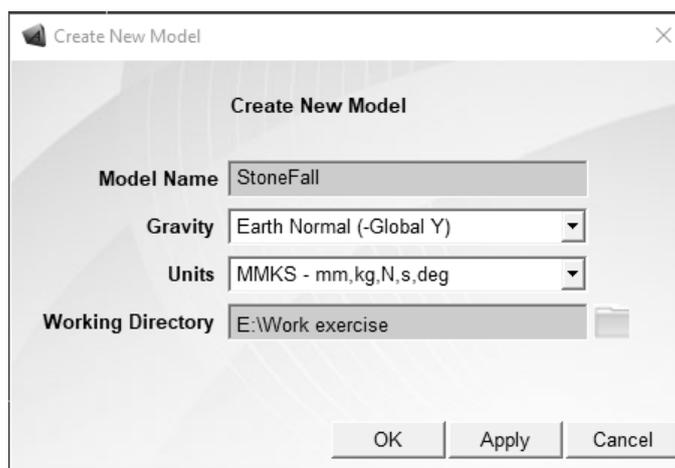


Рисунок 2.3 – Окно создания новой модели

Вводим в первой строчке имя модели (Model Name): StoneFall.

Во второй строчке (Gravity) указываем направление сил тяжести тел в модели, по умолчанию работаем в трехмерном пространстве и используем декартовую систему координат.

Соглашаемся с тем, что сила тяжести будет направлена вниз, параллельно оси Y и ее направление будет обратно направлению оси Y, о чем свидетельствует знак «←»: -Global Y.

В третьей строке устанавливаем единицы измерения (Units) длины, массы, сил, времени и угловых размеров (система MMKS): mm, kg, N, s, deg.

В четвертой строке указываем размещение файла. Например: E:\Work exercise. При наименовании файлов и папок не используем кириллицу. Жмем ОК.

Для того чтобы наглядно видеть координаты для размещения тел в модели, нужно запустить координатное окно. Для этого нажимаем View и выбираем там Coordinate Window (рисунок 2.4).

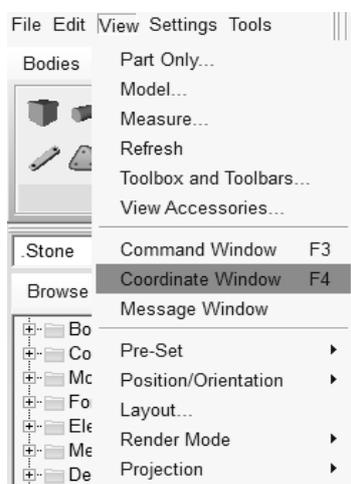


Рисунок 2.4 – Установка координатного окна

Для смены фона нажимаем Settings и выбираем View Background Color (рисунок 2.5).

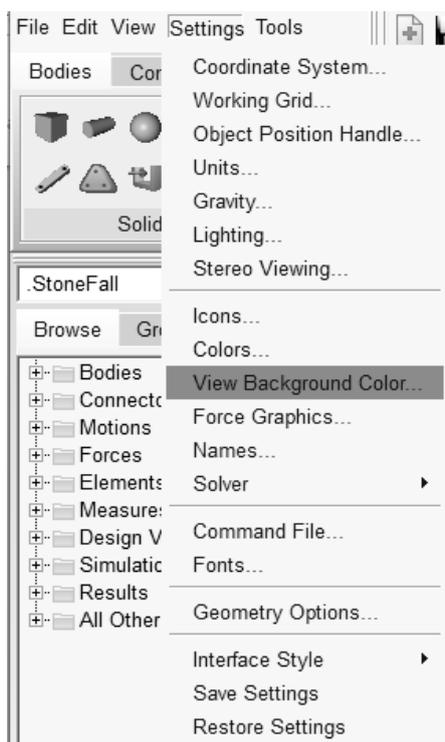


Рисунок 2.5 – Изменение цвета фона

В сгенерированном меню выбираем белый цвет и отключаем градиент (рисунок 2.6).

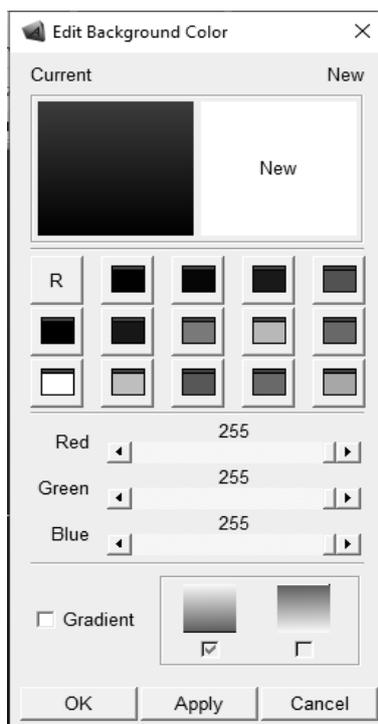


Рисунок 2.6 – Установка цвета фона

Для настройки сетки нажимаем Settings и выбираем Working Grid (рисунок 2.7).

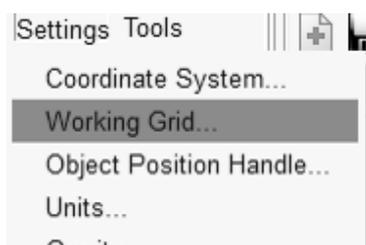


Рисунок 2.7 – Изменение параметров сетки

В открывшемся окне настраиваем сетку под нужные параметры (рисунок 2.8).

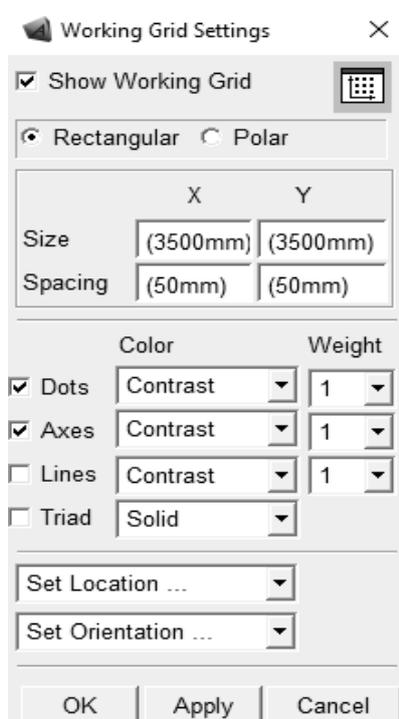


Рисунок 2.8 – Установка параметров сетки

### 2.2.2 Создание моделей тел.

В ленте инструментов выбираем тела (bodies). Там выбираем Rigid Body: Sphere (рисунок 2.9).

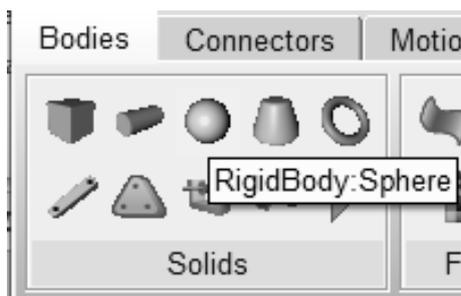


Рисунок 2.9 – Выбор тела из имеющихся форм

В сгенерированном меню выбираем новое тело (New Part), ставим отметку в поле радиуса (Radius), выставляем размер 50 mm (рисунок 2.10).

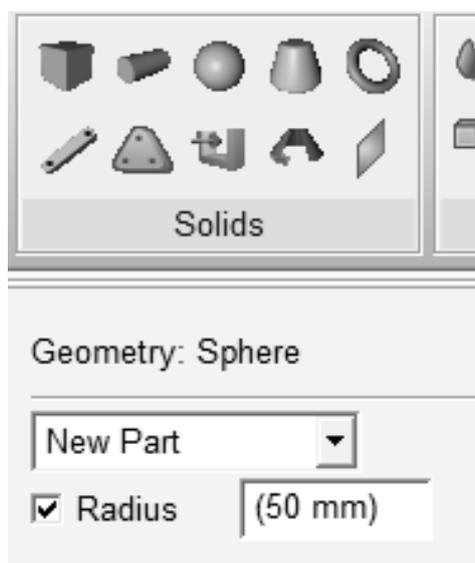


Рисунок 2.10 – Установка радиуса сферы

Создаем сферу этим радиусом в центре системы координат. Для этого мышью перемещаем в центр с координатами (0; 0; 0) и щелчком левой кнопки создаем тело (рисунок 2.11).

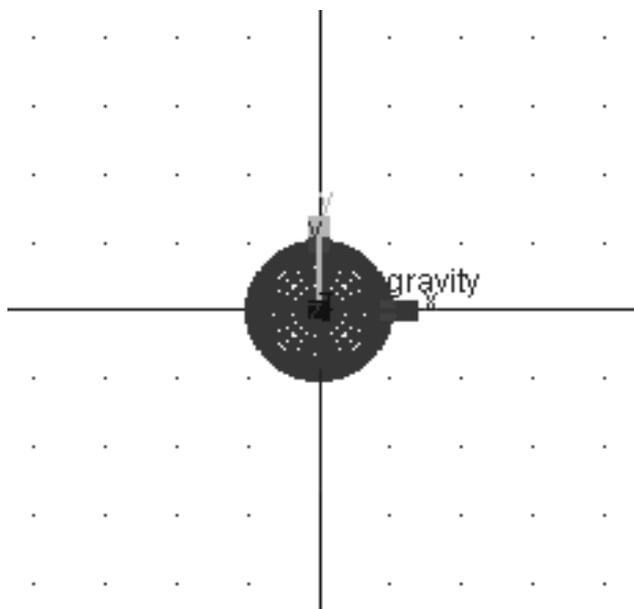


Рисунок 2.11 – Результат моделирования сферы

Переименовываем название тела в модели. По умолчанию ему присваивается имя PART\_2, PART\_3 и т. д. Под первым телом понимается неподвижное основание, стойка – ground. Для этого выбираем в навигаторе (колонке слева) папку деталей (тел) (bodies), кликаем правой кнопкой мыши по ней и выбираем файл PART\_2 (рисунок 2.12).

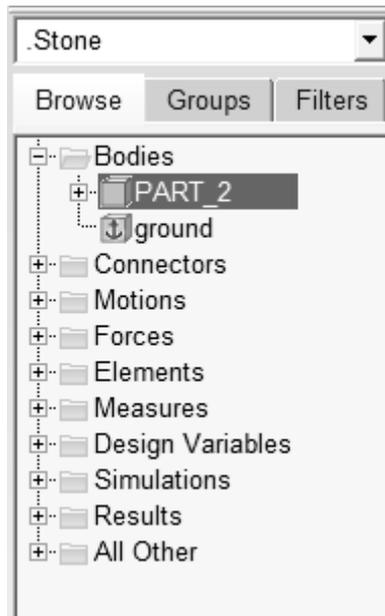


Рисунок 2.12 – Выбор тела в навигаторе модели

Кликаем на него правой кнопкой мыши и выбираем функцию переименования (Rename) (рисунок 2.13).

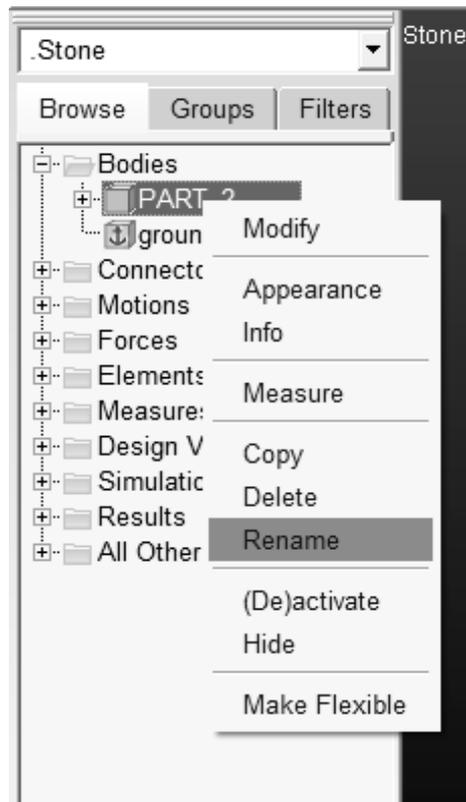


Рисунок 2.13 – Переименование тела

Вводим имя Stone (камень) в строке нового имени (New Name) (рисунок 2.14). Если предлагается заменить полное имя тела в модели .StoneFall.PART\_2, меняем только последнюю часть имени: .StoneFall.Stone.



Рисунок 2.14 – Присвоение нового имени

Из ленты инструментов выбираем инструмент **bodies**, там находим параллелепипед (**RigidBody:Box**) (рисунок 2.15).

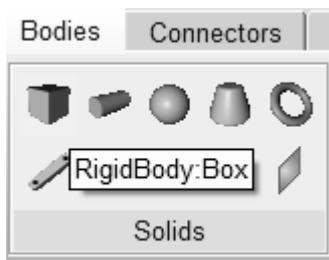


Рисунок 2.15 – Выбор формы для создания тела

В настройках параллелепипеда устанавливаем неподвижное закрепление с опорной поверхностью (**On Ground**), ставим отметку напротив длины (**Length**) и выбираем размер 3500 mm. Также ставим отметки напротив функций высота (**Height**) и глубина (**Depth**) и вводим размеры 100 mm для обеих (рисунок 2.16).

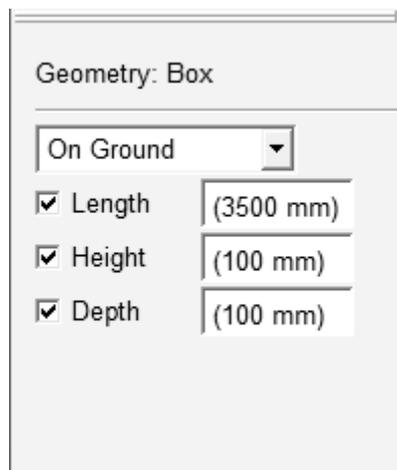


Рисунок 2.16 – Установка параметров параллелепипеда

Следует учесть, что длина измеряется относительно оси **OX**, высота – вдоль оси **OY**, глубина – вдоль оси **OZ**.

Используя мышь, выбираем координаты (0;-150;0) (рисунок 2.17). Это точка принадлежит левому нижнему углу параллелепипеда, ближайшего к плоскости **XOY** вдоль оси **OZ**.

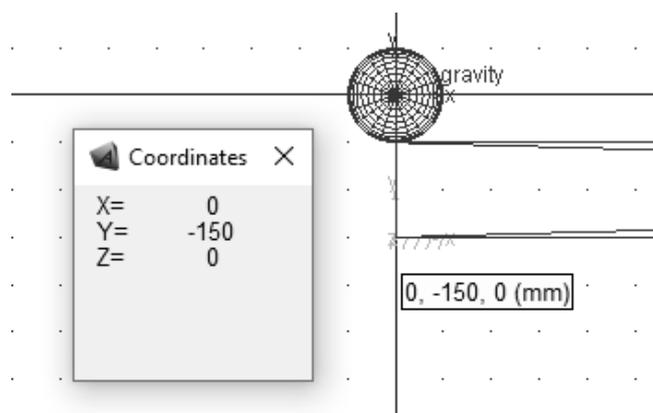


Рисунок 2.17 – Позиционирование параллелепипеда

Для просмотра картинки в изометрии используем инструмент Rotate about (рисунок 2.18).

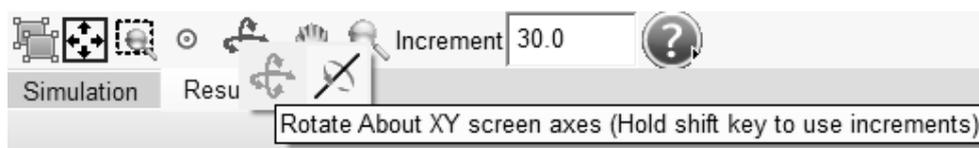


Рисунок 2.18 – Вращение вида

Вращаем изображение в нужное положение (рисунок 2.19).

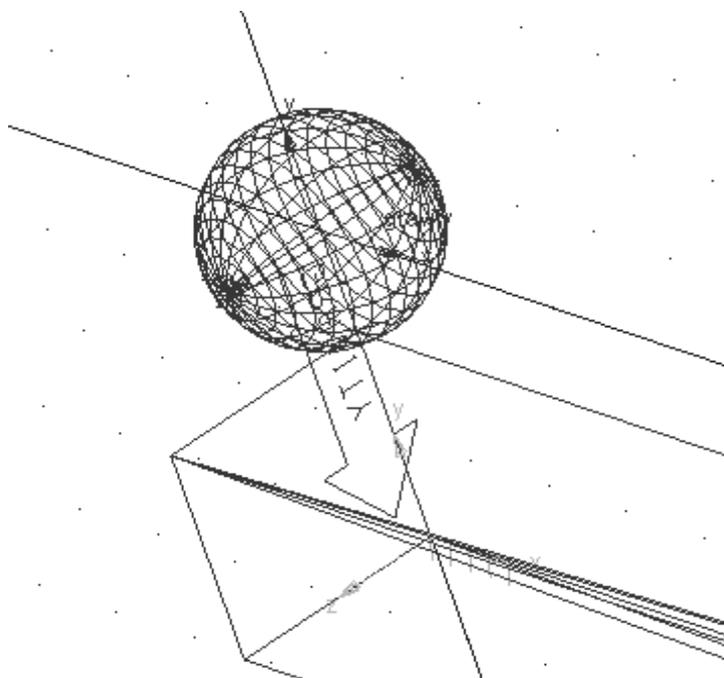


Рисунок 2.19 – Пространственный вид системы

Чтобы вернуть изображение в начальное положение, нажимаем View и выбираем Pre-set, далее нажимаем Front (рисунок 2.20).

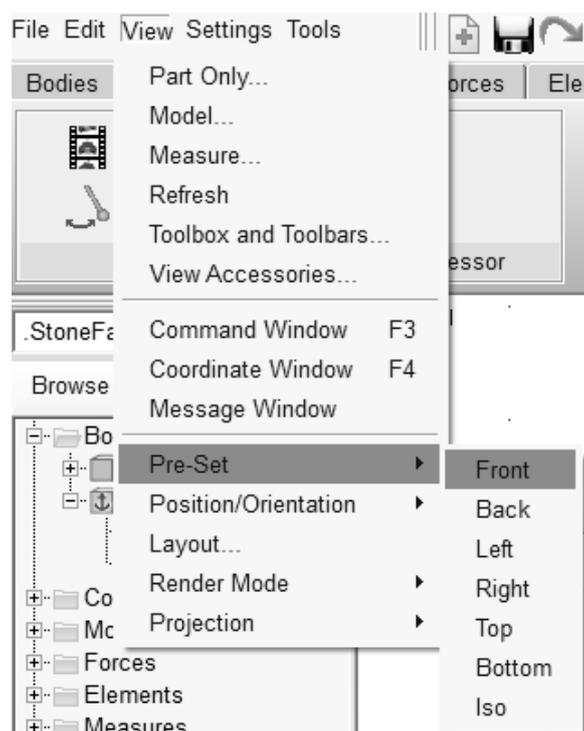


Рисунок 2.20 – Управление видами

### 2.2.3 Настройка начальных условий, создание системы измерений и запуск симуляции.

В навигаторе кликаем правой кнопкой мыши на папку Bodies, потом выбираем тело Stone и функцию Изменить (Modify) (рисунок 2.21).

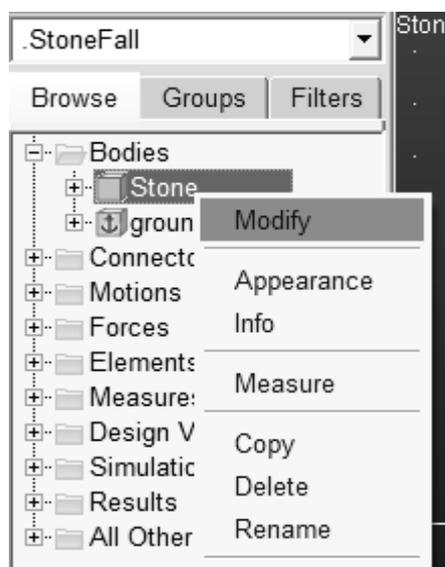


Рисунок 2.21 – Изменение параметров тела

Устанавливаем категорию, определяющую движение тела (Category), как заданные начальные условия скорости (Velocity Initial Conditions). Под надписью Поступательная скорость вдоль оси (Translational velocity along) включаем оси X и Y. В меню набора текста вводим данные для оси X:

$(6 \cdot \cos(60^\circ) \text{ m/sec})$ ) и для оси Y:  $(6 \cdot \sin(60^\circ) \text{ m/sec})$ ) (рисунок 2.22).

Пояснение: так как начальная скорость  $v_0 = 6 \text{ м/с}$ , с учетом того, что ее вектор направлен под углом  $\alpha$ , проекция этого вектора на ось X равна  $v_0 \cdot \cos(\alpha)$ , а на ось Y равна  $v_0 \cdot \sin(\alpha)$ . Указать единицы измерения необходимо, т. к. они не полностью совпадают с установленными изначально (рисунок 2.3).

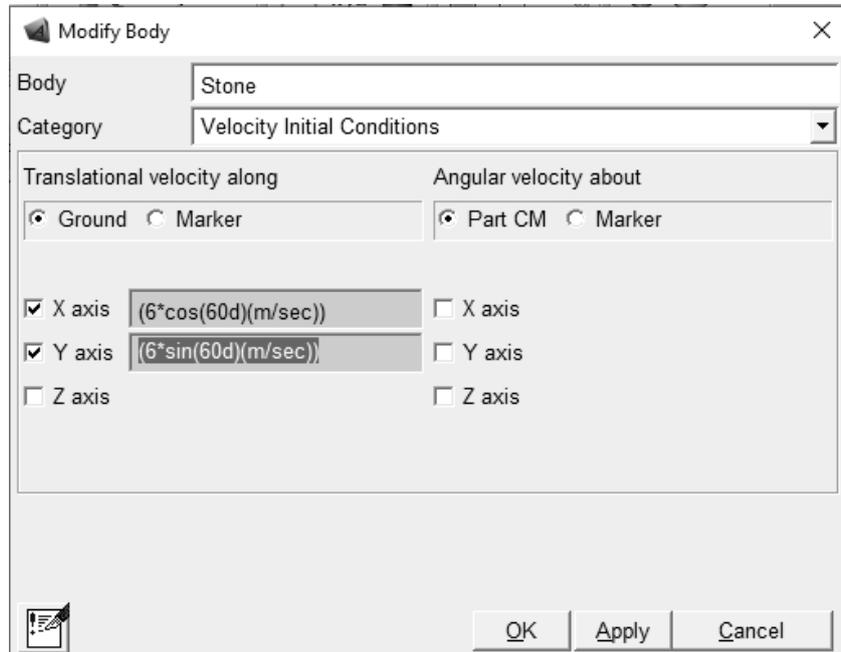


Рисунок 2.22 – Задание проекций начальной скорости

Во вкладке обзора (Browse) навигатора щелкаем правой кнопкой мыши на папку тела (Bodies), потом по файлу Stone и выбираем функцию Измерение (Measure) (см. рисунок 2.23).

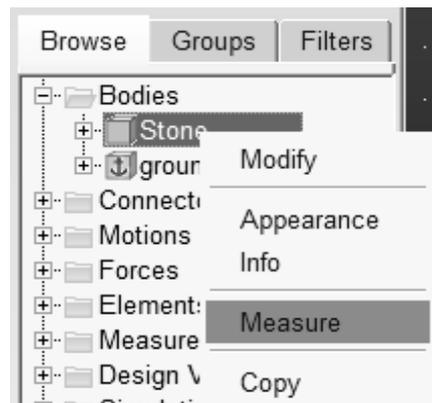


Рисунок 2.23 – Установка функции измерения

В строчке Наименование измерений (Measure Name) вводим R\_displacement. Устанавливаем характеристики (Characteristic) на CM position (положение центра масс). Устанавливаем необходимую составляющую (Component) как координату X. Ставим метку напротив Component Strip Chart для создания графика изменения этой составляющей (рисунок 2.24).

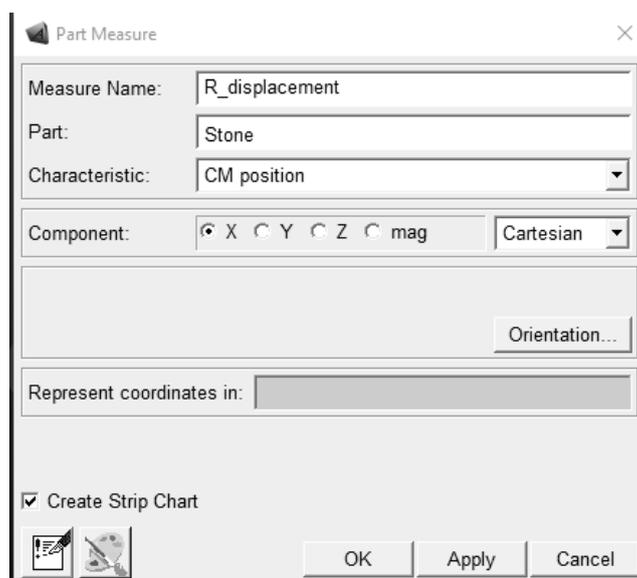


Рисунок 2.24 – Установка параметров измерения

Появится окно измерений (рисунок 2.25).

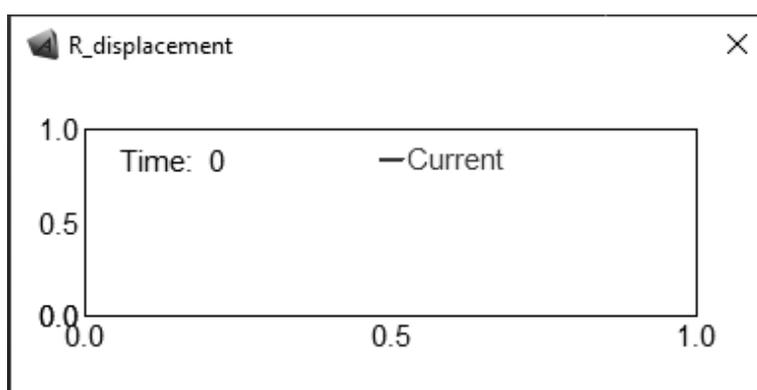


Рисунок 2.25 – График измерений

Выбираем из верхнего меню вкладку симуляции (Simulation) и нажимаем в ней на символ шестерни для запуска интерактивной симуляции (рисунок 2.26).

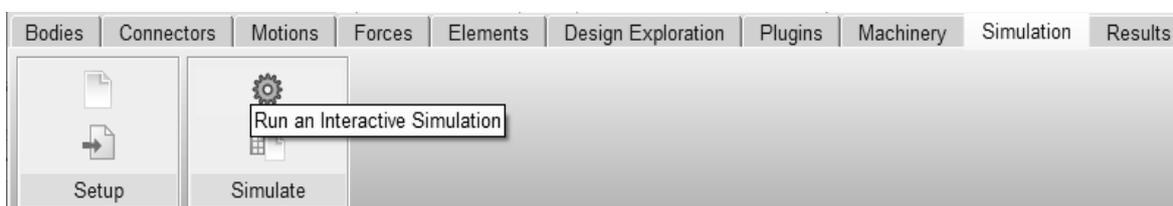


Рисунок 2.26 – Запуск симуляции движения

Устанавливаем конечное время симуляции (End Time) 1,5 с, размер шага (Step Size) 0,02 с и проигрываем анимацию кнопкой Play с зеленым треугольником (рисунок 2.27).

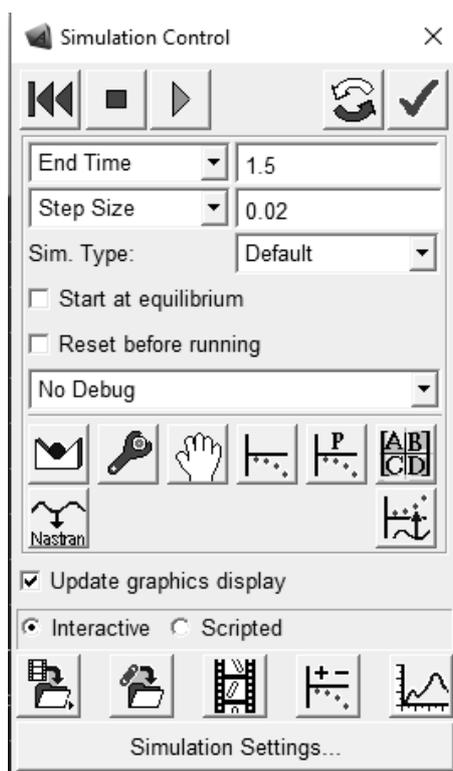


Рисунок 2.27 – Установка параметров симуляции

MSC.Adams\View запускает симуляцию и строит соответствующие графики в окне измерений (R\_displacement) (рисунок 2.28).

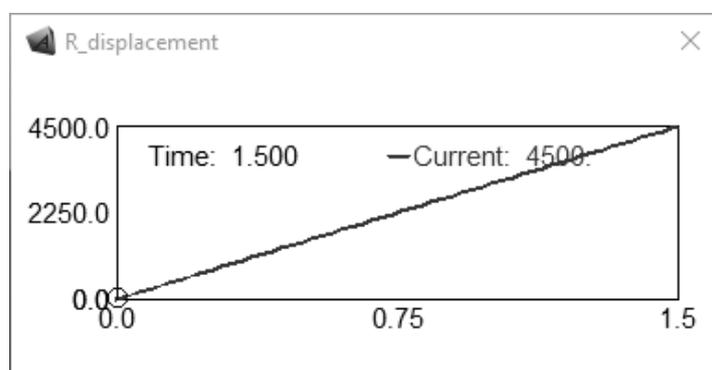


Рисунок 2.28 – Результаты измерения перемещения

#### 2.2.4 Анализ результатов моделирования.

Выбираем вкладку результатов верхнего меню (Result) и нажимаем там на контроль анимации (Animation Control Dialog Box) (рисунок 2.29).

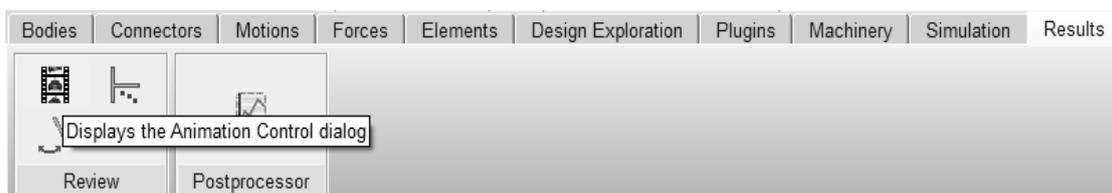


Рисунок 2.29 – Запуск анимации

С помощью проигрывателя находим кадр, где камень соприкасается с плитой, и останавливаем анимацию (рисунок 2.30). Отмечаем время соприкосновения тела и опорной поверхности  $T_{\max}$  в отчете (на рисунке 2.28 в левом верхнем углу Time = 1,05 с).

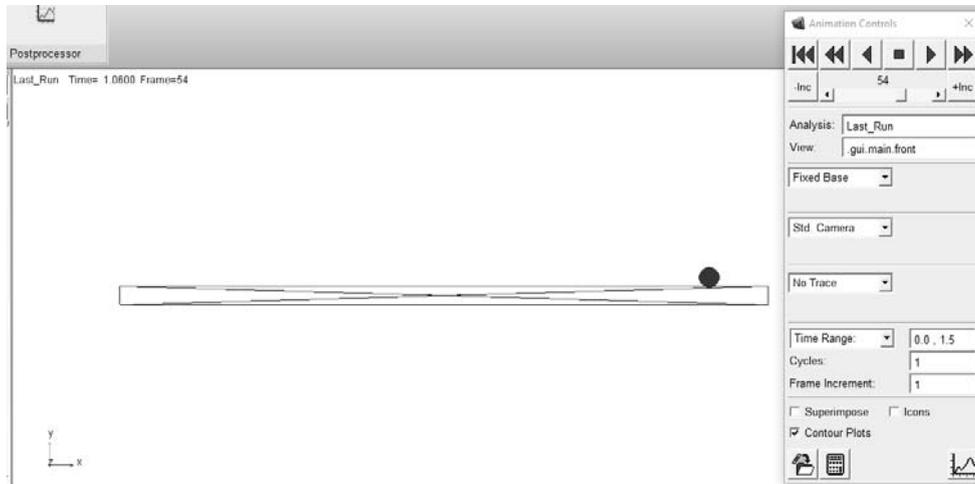


Рисунок 2.30 – Установка параметров анимации

В меню контроля анимации изменяем параметр без трассировки (No Trace) на трассировку с маркером (Trace Marker). Правой кнопкой мыши нажимаем на пустое текстовое поле ниже, там выбираем Marker и далее – Browse (рисунок 2.31).

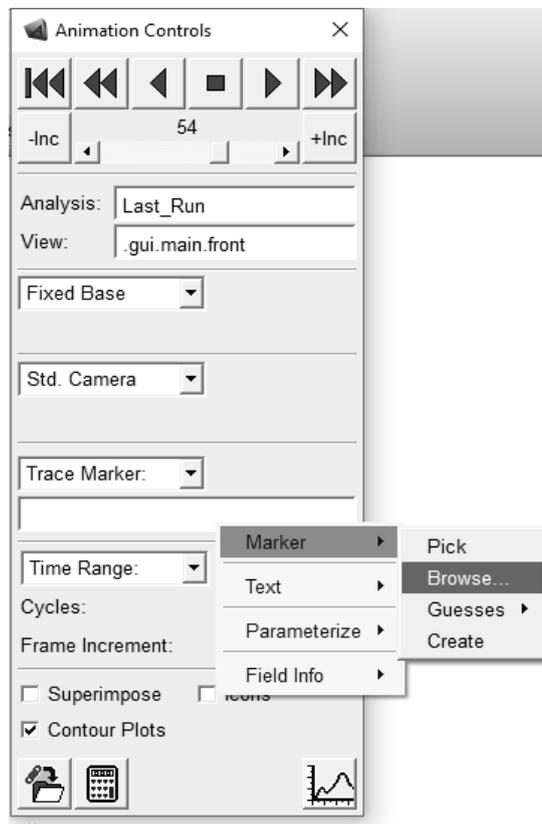


Рисунок 2.31 – Установка трассировки и выбор маркера

В окне навигатора баз данных (Database Navigator) выбираем исследуемое тело (Stone), а под ним – его центр масс (cm) и кликаем по нему 2 раза (рисунок 2.32).

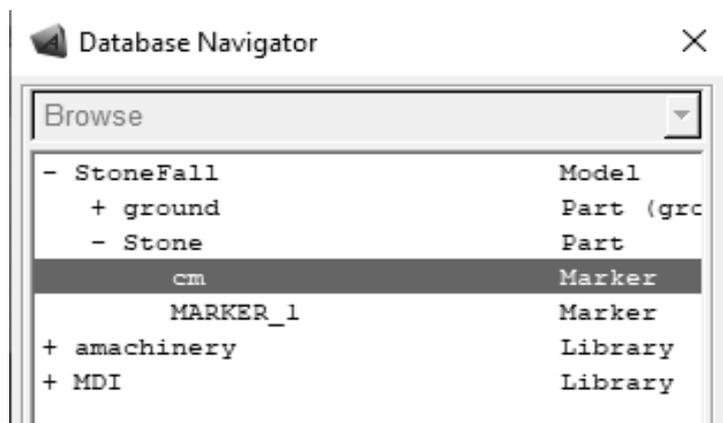


Рисунок 2.32 – Выбор центра масс тела

Затем вновь проигрываем анимацию движения тела с появлением траектории его движения (рисунок 2.33).

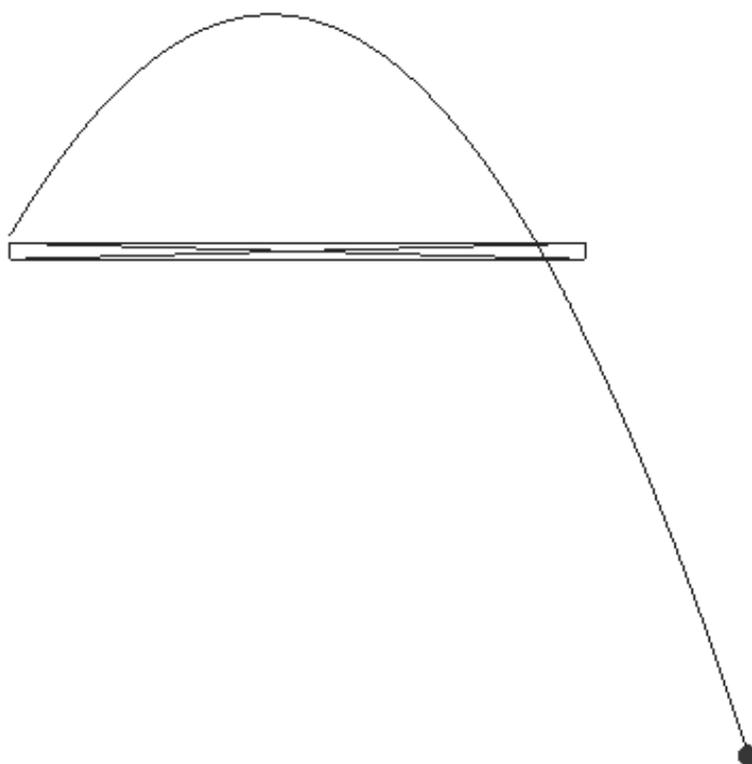


Рисунок 2.33 – Результат анимации

Для нахождения дальности полета тела правой кнопкой мыши кликаем внутри окна графика (R\_displacemen), выбираем график Plot: scht1 и далее – Transfer to Full Plot (рисунок 2.34).

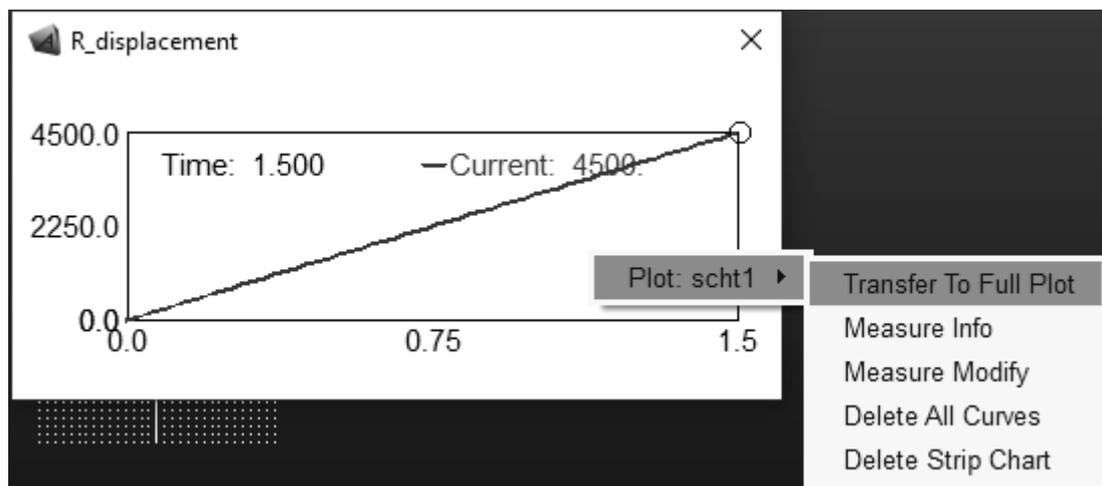


Рисунок 2.34 – Переход в режим исследования графиков

Блок программы Adams/View заменяется на Adams/PostProcessor. Выбираем инструмент отслеживания (Plot Tracking) (рисунок 2.35).

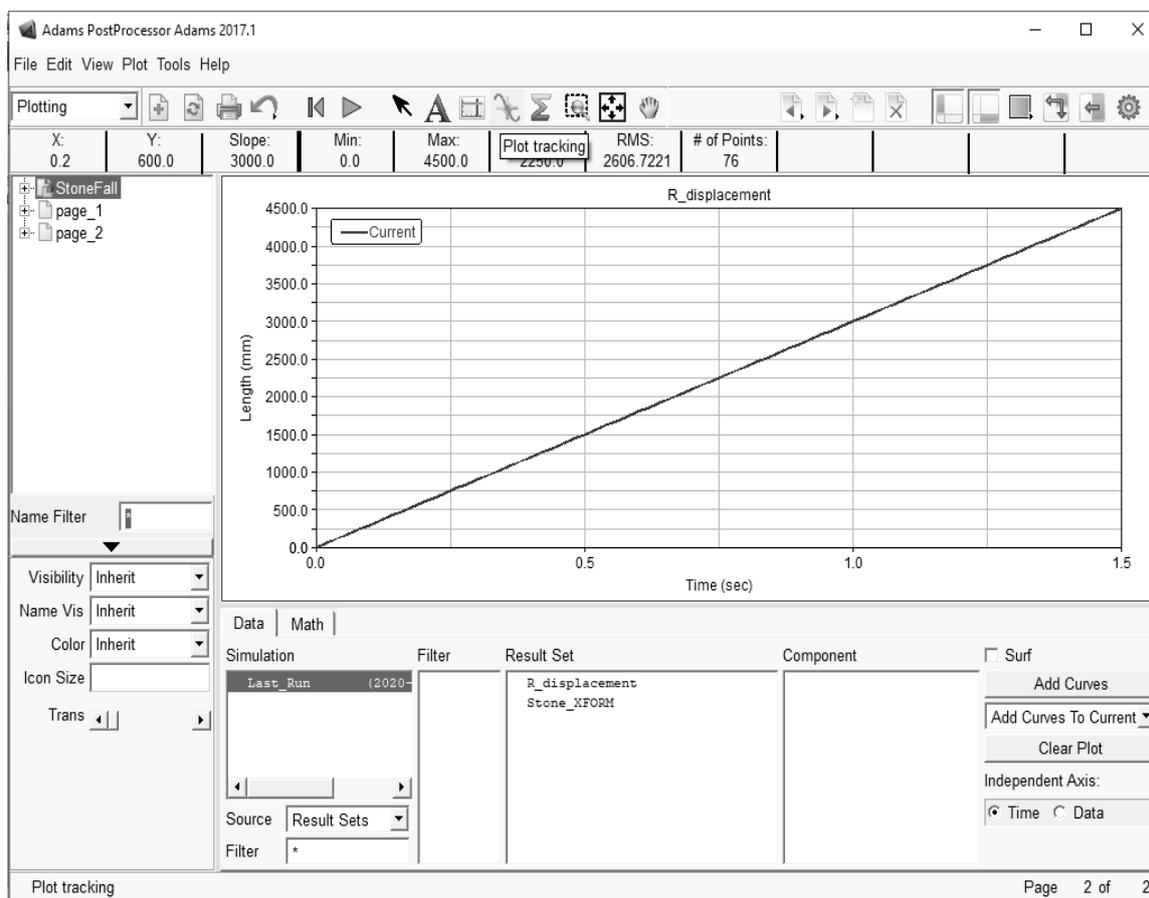


Рисунок 2.35 – Исследование графика перемещения тела

Так как хотим знать, где камень соприкасается с землей, двигаем курсор по линии до тех пор, пока значение  $X$  не совпадет со временем соприкосновения (рисунок 2.36).

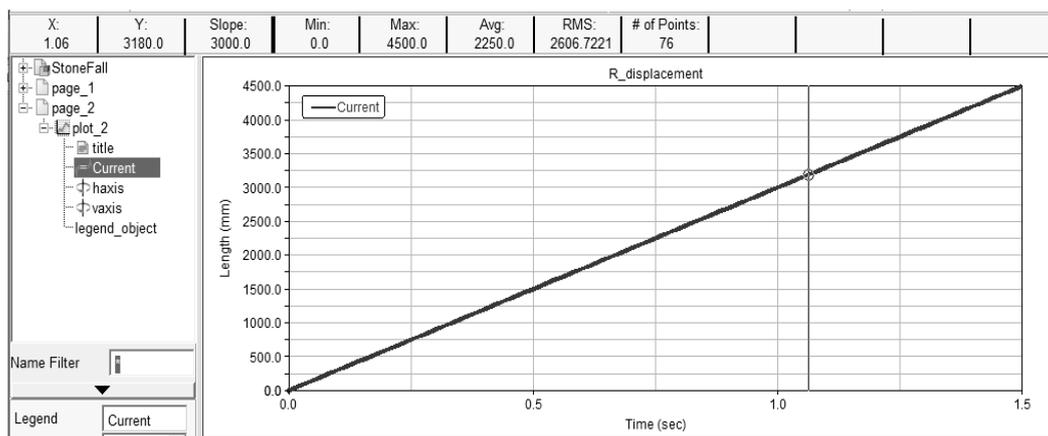


Рисунок 2.36 – Определение максимальной дальности полета

Зафиксируем в отчете значения максимальной дальности полета тела  $X_{\max}$ .

### 2.2.5 Сохранение данных и выход из программы.

Нажимаем на иконку Adams/View для возврата из постпроцессора к модели (рисунок 2.37).



Рисунок 2.37 – Переход к режиму моделирования

В меню файлов (File) выбираем функцию Сохранить как (Save Database As) (рисунок 2.38).



Рисунок 2.38 – Сохранение базы данных (файла)

В поле имени файла (File Name) вводим projectile и нажимаем ОК (рисунок 2.39).

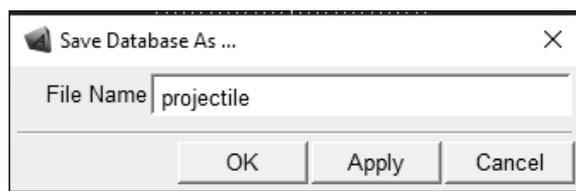


Рисунок 2.39 – Сохранение базы данных (файла) под именем projectile

Выходим из программы нажатием кнопки X в правом верхнем углу программы.

### 2.3 Аналитическое решение поставленной задачи

Дано:  $m = 2$  кг,  $v_0 = 6$  м/с,  $\alpha = 60^\circ$ . Определить:  $H_{\max}$ ,  $T_{\max}$ ,  $X_{\max}$ .

*Решение*

Рассмотрим движение тела как движение материальной точки (центра масс тела). Свяжем начало системы отсчета с центром масс тела (рисунок 2.40).

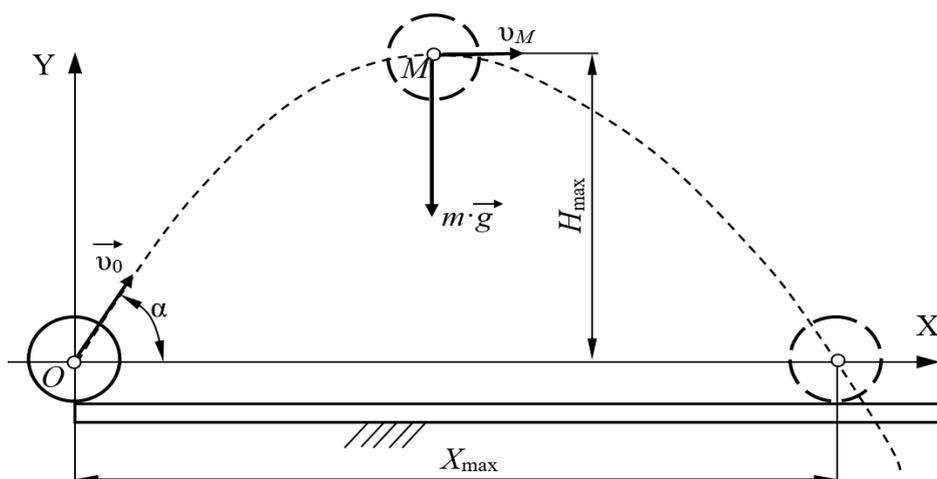


Рисунок 2.40 – Расчетная схема движения тела (материальной точки) в плоскости

Запишем основное уравнение динамики материальной точки (второй закон Ньютона):

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F},$$

где  $m$  – масса материальной точки, кг;

$\vec{a}$  – ускорение точки, м/с<sup>2</sup>;

$\sum \vec{F}$  – геометрическая сумма сил, действующих на точку.

Рассмотрим проекцию этого уравнения на ось OX:

$$m \cdot a_x = \sum F_x,$$

где  $a_x$  – проекция ускорения точки на ось ОХ;

$\sum F_x$  – сумма проекций сил на ось ОХ.

На точку действует только сила тяжести, направленная вдоль оси ОУ. Поэтому, с учетом того, что ускорение – это первая производная от скорости, получим

$$m \cdot \frac{dv_x}{dt} = 0.$$

Далее, т. к. масса – это постоянная величина (коэффициент),

$$\frac{dv_x}{dt} = 0.$$

Разделим переменные:

$$dv_x = 0 \cdot dt.$$

Возьмем интегралы от правой и левой частей уравнения для определения первообразной:

$$\int dv_x = \int 0 \cdot dt.$$

После интегрирования

$$v_x = C_1,$$

где  $C_1$  – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.

Для ее определения подставим в правую часть начальные значения параметров, в левую – время  $t = 0$ . Получим

$$v_{0x} = C_1 \text{ или } C_1 = v_0 \cdot \cos(\alpha).$$

Подставив это выражение в проинтегрированное уравнение, получим

$$v_x = v_0 \cdot \cos(\alpha). \quad (2.1)$$

Заменим, по аналогии, проекцию скорости на ось ОХ на производную от перемещения по времени вдоль оси ОХ. Разделим переменные и возьмем интегралы от правой и левой частей уравнения (2.1):

$$\frac{dx}{dt} = v_0 \cdot \cos(\alpha);$$

$$dx = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot dt;$$

$$\int dx = \int v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot dt;$$

$$x = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t + C_2.$$

При  $t = t_0 = 0$  начальная координата  $x = x_0 = 0$ . При этом

$$x_0 = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot 0 + C_2, \text{ т. е. } C_2 = x_0.$$

Так как начало системы координат связано с началом движения,  $x_0 = 0$ .  
Окончательно получим уравнение движения точки вдоль оси ОХ

$$x = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t. \quad (2.2)$$

Прделаем аналогичные математические операции, спроектировав основное уравнение динамики на ось ОУ:

$$m \cdot a_y = \sum F_y,$$

где  $a_y$  – проекция ускорения точки на ось ОУ;

$\sum F_y$  – сумма проекций сил на ось ОУ.

Учитывая, что сила тяжести направлена в сторону, обратную положительному направлению оси ОУ,

$$m \cdot \frac{dv_y}{dt} = -m \cdot g.$$

Сократив массу,

$$\frac{dv_y}{dt} = -g.$$

Разделим переменные:

$$dv_y = -g \cdot dt;$$

$$\int dv_y = \int -g \cdot dt.$$

После интегрирования

$$v_y = -g \cdot t + C_3.$$

Для определения постоянной интегрирования  $C_3$  подставим в правую часть начальные значения параметров, в левую – время  $t = 0$ . Получим

$$v_{0y} = -g \cdot 0 + C_3 \text{ или } C_3 = v_0 \cdot \sin(\alpha).$$

Подставив это выражение в проинтегрированное уравнение, получим

$$v_y = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha); \quad (2.3)$$

$$\frac{dy}{dt} = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha);$$

$$\int dy = \int (-g \cdot t + v_0 \cdot \sin(\alpha)) \cdot dt;$$

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + C_4.$$

При  $t = t_0 = 0$  начальная координата  $y = y_0$ . Подставляя эти значения в уравнение, записанное ранее, получим  $C_4 = y_0$ .

С учетом начала движения из начала координат ( $y_0 = 0$ ), окончательно получим уравнение движения точки вдоль оси ОУ

$$y = -\frac{g \cdot t^2}{2} + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t. \quad (2.4)$$

В момент касания тела опорной поверхности координата его центра масс равна нулю. Из уравнения (2.4), подставив  $y = 0$ , находим время полета  $T_{\max}$ :

$$T_{\max} = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin(\alpha)}{g} = \frac{2 \cdot 6}{9,81} \cdot \sin(60^\circ) = 1,059 \text{ с.}$$

Подставив время полета  $t = T_{\max}$  в уравнение (2.2), находим дальность полета:

$$X_{\max} = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot T_{\max} = 6 \cdot \cos(60^\circ) \cdot 1,059 = 3,178 \text{ с.}$$

В наивысшем положении (точка  $M$  на рисунке 2.40) составляющая скорости  $v_y = 0$ , т. к. скорость точки направлена по касательной к ее траектории. Приравняв  $v_y$  в уравнении (2.3) к нулю, находим время  $t = T_M$  до набора максимальной высоты:

$$T_M = \frac{v_0 \cdot \sin(\alpha)}{g} = \frac{6 \cdot \sin(60^\circ)}{9,81} = 0,53 \text{ с.}$$

Подставив это выражение ( $t = T_M$ ) в уравнение (2.4), находим максимальную высоту:

$$H_{\max} = -\frac{g \cdot T_M^2}{2} + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot T_M = -\frac{9,81 \cdot 0,53^2}{2} + 6 \cdot \sin(60^\circ) \cdot 0,53 = 1,376 \text{ м.}$$

Решая совместно уравнения (2.2) и (2.4), можно исключить параметр  $t$  и получить уравнение траектории движения точки. В данном случае это парабола.

#### **2.4 Задания для моделирования и расчета и составление отчета по работе**

Исходные данные для моделирования и расчетов приведены в таблице 2.1. Схема является общей для всех и показана на рисунке 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для выполнения лабораторной работы № 2

Номер варианта	$m$ , кг	$v_0$ , м/с	$\alpha$ , град	$r$ , мм	Номер варианта	$m$ , кг	$v_0$ , м/с	$\alpha$ , град	$r$ , мм
1	1,7	5,8	62	120	9	2,3	5,9	41	148
2	1,8	6,2	65	125	10	1,7	4,7	26	134
3	1,9	6,1	70	100	11	1,6	5,2	34	126
4	2,1	6,3	73	110	12	2,0	5,6	36	150
5	1,6	4,5	24	124	13	1,5	4,9	29	118
6	1,5	5,1	45	115	14	1,9	4,6	69	140
7	2,2	6,0	63	136	15	1,6	7,0	22	130
8	2,4	6,4	55	128	16	1,8	6,9	79	142

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист, цель работы, исходные данные согласно таблице 2.1, зафиксированные параметры  $T_{\max}$  и  $X_{\max}$  по результатам моделирования, расчеты согласно п. 3 и выводы по результатам работы. Кроме этого, студент должен представить разработанную модель на компьютере (ноутбуке).

#### **Контрольные вопросы**

1 Зависят ли дальность полета, максимальная высота и время полета тела от его массы?

2 При добавлении нового тела в MSC.ADAMS\View и закреплении его на опорной поверхности появится ли это тело в навигаторе?

3 Сформулируйте вторую задачу динамики материальной точки.

4 Как отличаются данные, полученные по результатам компьютерного моделирования и аналитических вычислений?

5 За что отвечает функция On Ground при создании объекта?

6 Как можно найти максимальную высоту, которую достигнет камень во время полета?

## Список литературы

1 ADAMS. The Multibody Dynamics Simulation Solution [Электронный ресурс]: официальный сайт компании MSC Software. – Режим доступа : <https://www.mscsoftware.com/product/adams>. – Дата доступа : 20.10.2020.

2 Основы кинематического и динамического моделирования в MSC.ADAMS : метод. указания / Сост.: В. С. Мелентьев, А. С. Гвоздев. – Самара: Самар. ун-т, 2018. – 48 с.: ил.

3 **Никитин, Н. Н.** Курс теоретической механики: учебник для вузов / Н. Н. Никитин. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 719 с. : ил.