|  |  |
| --- | --- |
|  | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_ Радиотехнический

КАФЕДРА \_\_\_Системы обработки информации и управления\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**ОТЧЕТ ПО ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКЕ**

Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_*Зоров Владислав Витальевич*\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*фамилия, имя, отчество*

Группа\_\_\_*РТ5-81б*\_\_\_\_\_\_

Название предприятия\_\_\_ НПО «Алмаз» \_\_\_\_\_

Студент *29.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_*Зоров В.В.***

*дата, подпись фамилия, и.о.*

Научный руководитель *29.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_*Семенов Д.В.***

*дата, подпись фамилия, и.о.*

Руководитель практики от предприятия *29.05.2022***\_\_\_\_\_\_  *Гайдученко Н.Е.***

*дата, подпись фамилия, и.о.*

Руководитель практики от кафедры *29.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_*Кротов Ю.Н.***

*дата, подпись фамилия, и.о.*

Оценка (Научный руководитель)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Оценка(Руководитель практики от предприятия) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2022 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кафедра «Системы обработки информации и управления»

**ЗАДАНИЕ**

**на прохождение преддипломной практики**

на предприятии \_\_\_\_ (ПАО НПО “Алмаз”) \_\_\_\_\_

Студент\_\_\_\_\_*Зоров Владислав Витальевич*\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_РТ5-81б

(фамилия, имя, отчество; инициалы; индекс группы)

Во время прохождения производственной практики студент **должен**:

1. Провести анализ методов генерации гиперзвуковых траекторий

2. Выбрать наиболее точный метод из найденных.

3. Изучить основные особенности сферической СК и метод перевода в Декартову СК

4. Подготовить и сдать отчет о практике до 30.05.2022 года.

Дата выдачи задания « \_15\_ » \_мая\_\_ 2022 г.

Студент **\_\_***15.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_\_\_*Зоров В.В.*\_\_\_**

*подпись, дата фамилия, и.о.*

Научный руководитель **\_\_***15.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_\_\_*Семенов Д.В.*\_\_**

*подпись, дата фамилия, и.о.*

Руководитель практики от предприятия **\_\_***15.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_\_\_ *Гайдученко Н.Е.***

*подпись, дата фамилия, и.о.*

Руководитель практики от кафедры **\_\_***15.05.2022***\_\_\_\_\_\_ \_\_\_*Кротов Ю.Н.*\_\_\_**

*подпись, дата фамилия, и.о.*

**СОДЕРЖАНИЕ**

ЗАДАНИЕ 2

СОДЕРЖАНИЕ 3

ВВЕДЕНИЕ 4

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ 6

1. Методы численного интегрирования 6

1.1 Метод Эйлера 6

1.2 Значение метода Эйлера 6

1.3 Метод Рунге-Кутты. Ошибка метода Рунге-Кутты 7

2. Подсчёт значения ошибки для Метода Эйлера и сравнение с ошибкой метода Рунге-Кутты 7

3. Сферическая система координат 10

3.1 Общее представление сферической СК 10

### 3.2 Сферическая географическая система координат 11

3.3 Переход от сферической системы координат к Декартовой обратно 11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 12

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 13

**Введение**

**1.Краткая история образования и деятельности компании**

Производственная практика – важный этап подготовки квалифицированных специалистов, являясь видом учебно-вспомогательного процесса, в ходе неё закрепляются теоретические знания на производстве. Практика является завершающем этапом в процессе подготовки специалиста к самостоятельной производственной деятельности.

Данная производственная практика проходила на базе НПО Алмаз им. Академика А.А. Расплетина с 16 мая 2022 года по 27 мая 2022 года на должности программиста

НПО Алмаз основано в 1947 году. С 1955 года и по настоящее время предприятие разрабатывает и выпускает зенитные ракетные комплексы

**2.** **Основные направления деятельности компании**

В настоящее время НПО Алмаз осуществляет серийный выпуск продукции гражданского назначения для УВД, которая поставляется на внутренний и внешний рынок в интересах аэронавигации, аэропортов.

Другим направлением работы предприятия является также и производство и поставка на экспорт радиолокационных средств и систем различного назначения.

НПО Алмаз также предоставляет услуги по монтажу и пуско-наладке оборудования, обучению персонала, в поставке запасных частей и последующей модернизации. ТТХ продукции предприятия не уступает лучшим образцам продукции известных компании и превосходит их по некоторым параметрам.

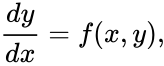
**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

**1.Методы численного интегрирования**

**1.1 Метод Эйлера**

**Метод Эйлера** — простейший [численный метод](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B) решения систем [обыкновенных дифференциальных уравнений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8B%D0%BA%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F). Впервые описан [Леонардом Эйлером](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80,_%D0%9B%D0%B5%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%B4) в 1768 году в работе «Интегральное исчисление»[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B0#cite_note-1). Метод Эйлера является явным, одношаговым методом первого порядка точности. Он основан на аппроксимации [интегральной кривой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%8F) кусочно-линейной функцией, так называемой ломаной Эйлера.

Пусть дана [задача Коши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%88%D0%B8) для уравнения первого порядка:



y_{{|_{{x=x_{0}}}}}=y_{0},

где функция f определена на некоторой области {\displaystyle D\subset \mathbb {R} ^{2}}. Решение ищется на интервале (x_{0},b]. На этом интервале введем узлы: x_{0}<x_{1}<\dots <x_{n}\leq b. Приближенное решение в узлах x_{i}, которое обозначим через y_{i}, определяется по формуле:

y_{i}=y_{{i-1}}+(x_{i}-x_{{i-1}})f(x_{{i-1}},y_{{i-1}}),\quad i=1,2,3,\dots ,n.

Эти формулы непосредственно обобщаются на случай систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

**1.2 Значение метода Эйлера**

Метод Эйлера являлся исторически первым методом численного решения задачи Коши. [О. Коши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%88%D0%B8,_%D0%9E%D0%B3%D1%8E%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BD_%D0%9B%D1%83%D0%B8) использовал этот метод для доказательства существования решения задачи Коши. Ввиду невысокой точности и вычислительной неустойчивости для практического нахождения решений задачи Коши метод Эйлера применяется редко. Однако в виду своей простоты метод Эйлера находит своё применение в теоретических исследованиях дифференциальных уравнений, задач [вариационного исчисления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D1%81%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и ряда других математических проблем.

**1.3 Метод Рунге-Кутты. Ошибка метода Рунге-Кутты**

**Ме́тоды Ру́нге — Ку́тты** (в литературе встречается название **методы Рунге — Кутта**) — большой класс [численных методов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B) решения [задачи Коши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%88%D0%B8) для [обыкновенных дифференциальных уравнений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8B%D0%BA%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) и их систем. Первые методы данного класса были предложены около 1900 года немецкими математиками [К. Рунге](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5,_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%BB) и [М. В. Куттой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BD_%D0%92%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC_%D0%9A%D1%83%D1%82%D1%82%D0%B0).

К классу методов Рунге — Кутты относятся [явный метод Эйлера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B0) и модифицированный метод Эйлера с пересчётом, которые представляют собой соответственно методы первого и второго порядка точности. Существуют стандартные явные методы третьего порядка точности, не получившие широкого распространения. Наиболее часто используется и реализован в различных математических пакетах ([Maple](https://ru.wikipedia.org/wiki/Maple), [MathCAD](https://ru.wikipedia.org/wiki/MathCAD" \o "MathCAD), [Maxima](https://ru.wikipedia.org/wiki/Maxima)) *классический метод Рунге — Кутты*, имеющий четвёртый порядок точности. При выполнении расчётов с повышенной точностью всё чаще применяются методы пятого и шестого порядков точности[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5_%E2%80%94_%D0%9A%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8B#cite_note-1)[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5_%E2%80%94_%D0%9A%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8B#cite_note-2). Построение схем более высокого порядка сопряжено с большими вычислительными трудностями[[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%A0%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%B5_%E2%80%94_%D0%9A%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8B#cite_note-ReferenceA-3).

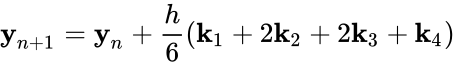
Методы седьмого порядка должны иметь по меньшей мере девять стадий, а методы восьмого порядка — не менее 11 стадий. Для методов девятого и более высоких порядков (не имеющих, впрочем, большой практической значимости) неизвестно, сколько стадий необходимо для достижения соответствующего порядка точности.

Метод Рунге — Кутты четвёртого порядка при вычислениях с постоянным шагом интегрирования столь широко распространён, что его часто называют просто методом Рунге — Кутты.

Рассмотрим [задачу Коши](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%88%D0%B8) для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. (Далее {\displaystyle \mathbf {y} ,\mathbf {f} ,\mathbf {k} _{i}\in \mathbb {R} ^{n}}, а x,h\in {\mathbb  {R}}^{1}).

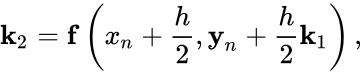
{\textbf  {y}}'={\textbf  {f}}(x,{\textbf  {y}}),\quad {\textbf  {y}}(x_{0})={\textbf  {y}}_{0}.

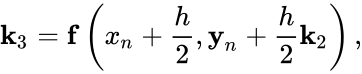
Тогда приближенное значение в последующих точках вычисляется по итерационной формуле:



Вычисление нового значения проходит в четыре стадии:

{\textbf  {k}}_{1}={\textbf  {f}}\left(x_{n},{\textbf  {y}}_{n}\right),





{\textbf  {k}}_{4}={\textbf  {f}}\left(x_{n}+h,{\textbf  {y}}_{n}+h\ {\textbf  {k}}_{3}\right).

где h — величина шага сетки по x.

Этот метод имеет четвёртый порядок точности. Это значит, что ошибка на одном шаге имеет порядок O(h^{5}), а суммарная ошибка на конечном интервале интегрирования имеет порядок O(h^4) .

**2. Подсчёт значения ошибки для Метода Эйлера и сравнение с ошибкой метода Рунге-Кутты**

Погрешность на шаге или локальная погрешность — это разность между численным решением после одного шага вычисления y_{i} и точным решением в точке x_i = x_{i-1}+h. Численное решение задаётся формулой

 y_i = y_{i-1} + h f(x_{i-1}, y_{i-1}). \quad

Точное решение можно разложить в [ряд Тейлора](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8F%D0%B4_%D0%A2%D0%B5%D0%B9%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B0):

{\displaystyle y(x_{i-1}+h)=y(x_{i-1})+hy'(x_{i-1})+O(h^{2}).}

Локальную ошибкуL получаем, вычитая из второго равенства первое:

{\displaystyle L=y(x_{i-1}+h)-y_{i}=O(h^{2}).}

Это справедливо, если y имеет непрерывную вторую производную. Другим достаточным условием справедливости этой оценки, из которого вытекает предыдущее и которое обычно может быть легко проверено, является непрерывная дифференцируемость {\displaystyle f(x,y)} по обоим аргументам[[3]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%AD%D0%B9%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%B0#cite_note-%D0%9C%D0%AD%D0%A1-3).

Погрешность в целом, глобальная или накопленная погрешность — это погрешность в последней точке произвольного конечного отрезка интегрирования уравнения. Для вычисления решения в этой точке требуется  S/h  шагов, где S длина отрезка. Поэтому глобальная погрешность метода G = O(h^2S/h)=O(h).

Таким образом, метод Эйлера является методом первого порядка — имеет погрешность на шаге  O(h^2)  и погрешность в целом O(h), соответственно, метод Рунге-Кутты является более точным методом целочисленного интегрирования, так как имеет разность ошибки на 2 степени ниже и является более желательным для применения при генерации гиперзвуковых траекторий.

**3. Сферическая система координат.**

**3.1 Общее представление сферической СК**

**Сферическая система координат** — [трёхмерная](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE) [система координат](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82), в которой каждая точка [пространства](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B2_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B5) определяется тремя числами (r,\;\theta ,\;\varphi ), где r — расстояние до [начала координат](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BB%D0%BE_%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82) (радиальное расстояние), а \theta  и \varphi  — зенитный и азимутальный [углы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BE%D0%BB) соответственно.

Понятия [*зенит*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82_(%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F)) и [*азимут*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%82_(%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F)) широко используются в [астрономии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F). [**Зенит**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82) — направление вертикального подъёма над произвольно выбранной точкой (точкой наблюдения), принадлежащей [**фундаментальной плоскости**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C). В качестве фундаментальной плоскости в астрономии может быть выбрана плоскость, в которой лежит экватор, или плоскость, в которой лежит горизонт, или плоскость эклиптики и т. д., что порождает разные системы небесных координат. [**Азимут**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D1%83%D1%82) — угол между произвольно выбранным лучом фундаментальной плоскости с началом в точке наблюдения и другим лучом этой плоскости, имеющим общее начало с первым.

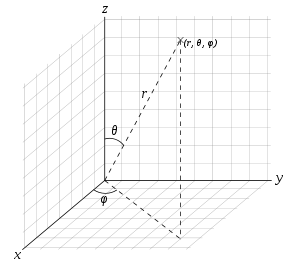
[](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spherical_with_grid.svg)

Рис. 1.Точка имеет три декартовых и три сферических координаты

Если рассматривать сферическую систему координат относительно [декартовой системы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%BE%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82) Oxyz, фундаментальной плоскостью будет плоскость xy, зенитным углом точки, заданной радиус-вектором P, будет угол между P и осью z, а азимутом — угол между проекцией P на плоскость xy и осью x. Это объясняет названия углов и то, что сферическая система координат может служить обобщением множества видов [**систем небесных координат**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82).

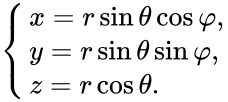
### 3.2 Сферическая географическая система координат

Сферическая географическая система координат строится следующим образом[[1]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%82#cite_note-bru-1):

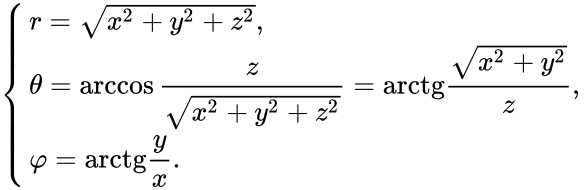
* её начало помещено в центр [Земли](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D1%8F);
* полярная ось направлена по [оси вращения](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) Земли;
* координата r отсчитывается вдоль радиус-вектора, проведенного из центра Земли;
* полярный угол \theta  есть *коширота* (дополнение географической [широты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B0) до 90^{\circ });
* азимутальный угол \varphi  совпадает с географической [долготой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%B0) (восточной).

**3.3 Переход от сферической системы координат к Декартовой и обратно**

Если заданы сферические координаты точки (r,\;\theta ,\;\varphi ), то переход к декартовым осуществляется по формулам:



Обратно, от декартовых к сферическим:



**Заключение**

Методы численного интегрирования применяются для решения систем дифференциальных уравнений и могут использоваться для систем ОДУ, описывающих гиперзвуковое движение. Наиболее подходящим, сочетающим в себе относительную простоту и достаточную точность для данной задачи, является метод Рунге-Кутты, вследствие меньшей на 2 порядка, по сравнению с методом Эйлера, ошибки. Задание сферической системы географических координат позволяет моделировать траекторию относительно Земли, а перевод сферических координат к Декартовым позволяет использовать различные методы, к примеру, уровень абсолютной высоты над уровнем Земли для вычисления характеристик атмосферы.

**Список использованных источников**

Официальный сайт raspletin [Электронный ресурс] // [raspletin.com/](https://raspletin.com/)

URL: <https://raspletin.com/istorija-predprijatija-77215/znamenatelnye-daty-predprijatija-mes>, Дата обращения: 27.05.2022

Официальный сайт wikipedia [Электронный ресурс] // wikipedia.org

URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сферическая\_система\_координат, Дата обращения: 27.05.2022

Официальный сайт wikipedia [Электронный ресурс] // wikipedia.org

URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\_Рунге\_—\_Кутты, Дата обращения: 27.05.2022