

Баранов А. В.

**СТУДЕНЧЕСКАЯ ПРОЕКТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО  
ДВИЖЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

*Александр Викторович Баранов*

*кандидат физико-математических наук, доцент*

*baranov@corp.nstu.ru*

*ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,*

*Россия, г. Новосибирск*

**STUDENTS' PROJECT REALIZATION OF COMPUTER MODELING  
AND 3D-VISUALIZATION OF BALLISTIC MOVEMENT IN THE EARTH  
ATMOSPHERE**

*Alexander Viktorovich Baranov*

*Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk*

***Аннотация.** В статье рассматривается программная разработка, выполненная бригадой студентов Новосибирского государственного технического университета в процессе организованной проектной деятельности. Разработка реализована в форме интерактивной виртуальной лаборатории, позволяющей проводить эксперименты с визуализацией во времени баллистического движения ракеты в атмосфере Земли.*

***Abstract.** The article discusses the software development performed by the students' team of the Novosibirsk State Technical University in the process of organized project activities. The software development was realized in the form of the interactive virtual laboratory, which allows experiments to be performed with the time visualization of the ballistic rocket movement in the Earth' atmosphere.*

**Ключевые слова:** проектная деятельность студентов, компьютерное моделирование физических процессов, виртуальные физические лаборатории, баллистическое движение

**Keywords:** student project activity, computer modeling of physical processes, virtual physical labs, ballistic movement

Расчет и анализ баллистического движения тел в атмосфере планет является важной научно-практической задачей, связанной с исследованием поведения космических объектов (метеориты, астероиды) и космических аппаратов (ракеты, спутники) [1, 2, 6]. Определение траектории, кинематических и динамических характеристик баллистического движения требует учета целого ряда факторов, связанных с особенностями геометрии и характера движения тел, состоянием и свойствами атмосферы, нюансами гравитационного воздействия и т.п. [1, 2, 6]. В общем случае решение задачи баллистического движения тела в атмосфере возможно только с помощью компьютерного моделирования, опирающегося на численные методы интегрирования уравнений движения.

Моделирование баллистического движения тел в атмосфере является интересной темой для вовлечения студентов в проектную деятельность компьютерного моделирования в процессе освоения курса физики. Последнее становится особенно актуальным в связи с растущим интересом университетов к проектной деятельности [3, 5], виртуальным лабораториям [7, 8] и дистанционному образованию [8].

В Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) автором организована проектная деятельность компьютерного моделирования физических процессов [3, 5]. Одним из направлений проектной деятельности является разработка бригадами студентов виртуальных лабораторий, в которых моделируются и визуализируются различные физические системы и процессы.

В статье приводится пример реализации компьютерного моделирования с визуализацией движения космического аппарата (ракеты) в атмосфере

Земли. Программная разработка осуществлена в форме интерактивной лаборатории, позволяющей проводить виртуальные эксперименты с различными значениями параметров. Авторами разработки были студенты *второго курса* факультета прикладной математики и информатики НГТУ — А. А. Гончаренко, Е. М. Лебедева, О. В. Позднякова.

При моделировании движения ракеты разработчиками были использованы следующие приближения:

- Земля имеет форму сферы;
- не учитывается влияние вращения Земли;
- движение ракеты является поступательным;
- учитывается действие только двух основных сил — *силы гравитационного притяжения Земли и силы сопротивления воздуха*.

Если тело движется в атмосфере достаточно медленно, то сила сопротивления пропорциональна скорости. В этом случае дифференциальное уравнение движения тела является линейным и в условиях постоянной плотности среды разрешимо аналитически. При высоких скоростях величина силы сопротивления среды пропорциональна квадрату скорости. В своей модели разработчики использовали квадратичное приближение для зависимости силы сопротивления от скорости. Кроме того, во внимание принимались зависимости гравитационной силы и плотности атмосферы Земли от высоты над уровнем моря. Для такой постановки задачи возможно только численное решение уравнения движения ракеты.

При расчете характеристик движения разработчиками использовалась декартова система координат: центр системы координат совпадает с центром Земли, плоскость  $XU$  — сечение Земли по экватору, плоскость  $YZ$  — сечение Земли по нулевому меридиану.

Численный метод решения определялся разработчиками из следующих соображений: время полета ракеты разбивается на малые промежутки  $\Delta t$ , и на

каждом таком промежутке (шаг по времени) значение вектора ускорения ракеты считается неизменным. В таком случае пространственное положение центра масс ракеты в заданной системе координат определяется выражением:

$$\vec{r}_i = \vec{r}_{i-1} + \vec{v}_{i-1} \cdot \Delta t + \frac{\vec{a}_i \cdot \Delta t^2}{2}$$

где  $\vec{r}_i$  — радиус-вектор центра масс ракеты на  $i$ -м шаге,

$\vec{r}_{i-1}$  — радиус-вектор центра масс ракеты на  $(i-1)$ -м шаге,

$\vec{v}_{i-1}$  — вектор скорости центра масс ракеты в начале временного промежутка  $\Delta t$ ,

$\vec{a}_i$  — вектор ускорения ракеты на  $i$ -м шаге.

В проекциях на координатные оси, получаем:

$$x_i = x_{i-1} + v_{i-1x} \cdot \Delta t + \frac{a_{ix} \cdot \Delta t^2}{2}$$

$$y_i = y_{i-1} + v_{i-1y} \cdot \Delta t + \frac{a_{iy} \cdot \Delta t^2}{2}$$

$$z_i = z_{i-1} + v_{i-1z} \cdot \Delta t + \frac{a_{iz} \cdot \Delta t^2}{2}$$

Вектор скорости определяется выражением:

$$\vec{v}_i = \vec{v}_{i-1} + \vec{a}_i \cdot \Delta t$$

где  $\vec{v}_i$  — вектор скорости на  $i$ -м шаге,

$\vec{v}_{i-1}$  — вектор скорости в начале временного промежутка,

$\vec{a}_i$  — вектор ускорения ракеты на  $i$ -м шаге.

В проекциях на координатные оси:

$$v_{ix} = v_{i-1x} + a_{ix} \cdot \Delta t$$

$$v_{iy} = v_{i-1y} + a_{iy} \cdot \Delta t$$

$$v_{iz} = v_{i-1z} + a_{iz} \cdot \Delta t$$

Так как в рамках выбранной модели учитывается влияние только силы притяжения Земли и силы сопротивления воздуха, то полное ускорение можно представить как сумму двух составляющих:

$$\vec{a}_i = \vec{g}_i + \vec{a}_{\text{drag}_i}$$

где  $\vec{a}_i$  — вектор полного ускорения ракеты на  $i$ -м шаге,

$\vec{g}_i$  — ускорение свободного падения на  $i$ -м шаге,

$\vec{a}_{drag_i}$  — ускорение, определяемое силой сопротивления на  $i$ -м шаге.

Вектор  $\vec{g}$  всегда направлен противоположно радиус-вектору  $\vec{r}$ ; вектор  $\vec{a}_{drag}$  всегда направлен противоположно вектору скорости  $\vec{v}$ .

Модули векторов  $\vec{g}_i$  и  $\vec{a}_{drag_i}$  вычисляются по следующим формулам:

$$g_i = g(r_i) = \frac{GM}{r_i^2}$$

где  $M$  — масса Земли,

$G$  — гравитационная постоянная,

$r_i$  — модуль радиус-вектора центра масс ракеты на  $i$ -м шаге.

$$a_{drag_i} = a_{drag_i}(h_{i-1}, v_{i-1}) = \frac{v_{i-1}^2 \cdot \rho(h_{i-1}) \cdot C_f \cdot S}{2m}$$

где  $h_{i-1}$  — высота поднятия центра масс ракеты над уровнем моря,

$\rho(h)$  — плотность земной атмосферы на высоте  $h$ ,

$C_f$  — безразмерный аэродинамический коэффициент,

$S$  — площадь поперечного сечения ракеты,

$v_{i-1}$  — модуль вектора скорости ракеты в начале временного промежутка,

$m$  — масса ракеты.

Проекция вектора ускорения на ось  $OX$  с учетом коллинеарности векторов  $\vec{g}$  и  $\vec{r}$ ,  $\vec{a}_{drag}$  и  $\vec{v}$  соответственно:

$$a_{i_x} = |\vec{g}| \cos \alpha + |\vec{a}_{drag}| \cos \beta,$$

где  $\alpha$  — угол между осью  $OX$  и вектором  $\vec{r}$ ,

$\beta$  — угол между осью  $OX$  и вектором  $\vec{v}$ .

Определение проекций вектора ускорения на оси  $OY$  и  $OZ$  производится аналогичным образом.

Рассчитываемые значения пространственных координат центра масс используются в программе для динамической визуализации движения ракеты и воспроизведения траектории, описываемой её центром масс.

Программный продукт в формате виртуальной лаборатории был реализован бригадой студентов на объектно-ориентированном языке C#. При разработке использовались библиотеки SharpGL и OpenGL. 3D-модели были созданы с помощью редактора Autodesk 3ds Max.

На рисунке 1 представлена заставка разработанной виртуальной лаборатории «Запуск баллистической ракеты с Земли».



Рисунок 1 — Виртуальная лаборатория «Запуск баллистической ракеты с Земли»

Заставка исчезает после нажатия любой клавиши или через несколько секунд. На экране монитора появляется главное окно интерфейса.

На рисунке 2 представлено главное окно интерфейса виртуальной лаборатории с 3D-изображением Земли и атмосферы.

Расположенные на панели *управляющие элементы интерфейса* позволяют останавливать (прерывать) процессы с последующим продолжением, полностью обновлять параметры и регулировать скорость воспроизведения

динамической визуализации моделируемого процесса. С помощью компьютерной мыши можно поворачивать и изменять линейные размеры 3D-изображения.

Управляющие элементы интерфейса позволяют изменять:

- вектор начальной скорости ракеты (модуль и углы),
- начальное положение ракеты у поверхности Земли (широта, долгота, высота над уровнем моря),
- скорость визуализации.

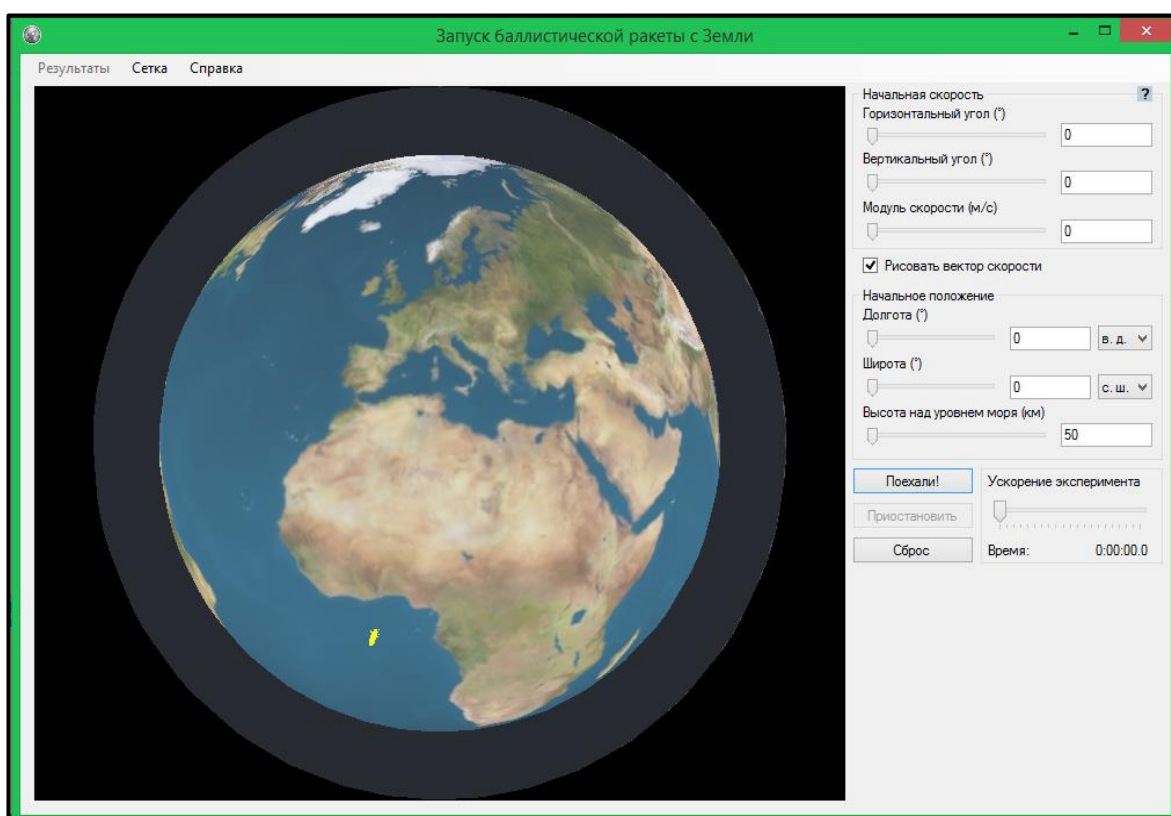


Рисунок 2 — Главное окно интерфейса с 3D изображением Земли с атмосферой

Для визуального контроля пространственного положения ракеты предусмотрен режим опции «Сетка», активизируемый нажатием кнопки в строке меню. Опция позволяет воспроизводить на экране монитора по выбору три двумерные масштабные сетки, соответствующие заданным в программе координатным осям. Расположенный на панели интерфейса таймер позволяет регистрировать текущее время полета ракеты.

Кнопка меню «Результаты» позволяет в отдельном окне выводить графики зависимостей от времени высоты полета, скорости и полного ускорения ракеты.

На рисунке 3 представлено главное окно интерфейса виртуальной лаборатории с изображениями траектории полета ракеты и активизированной масштабной сетки для одной из координатных плоскостей.

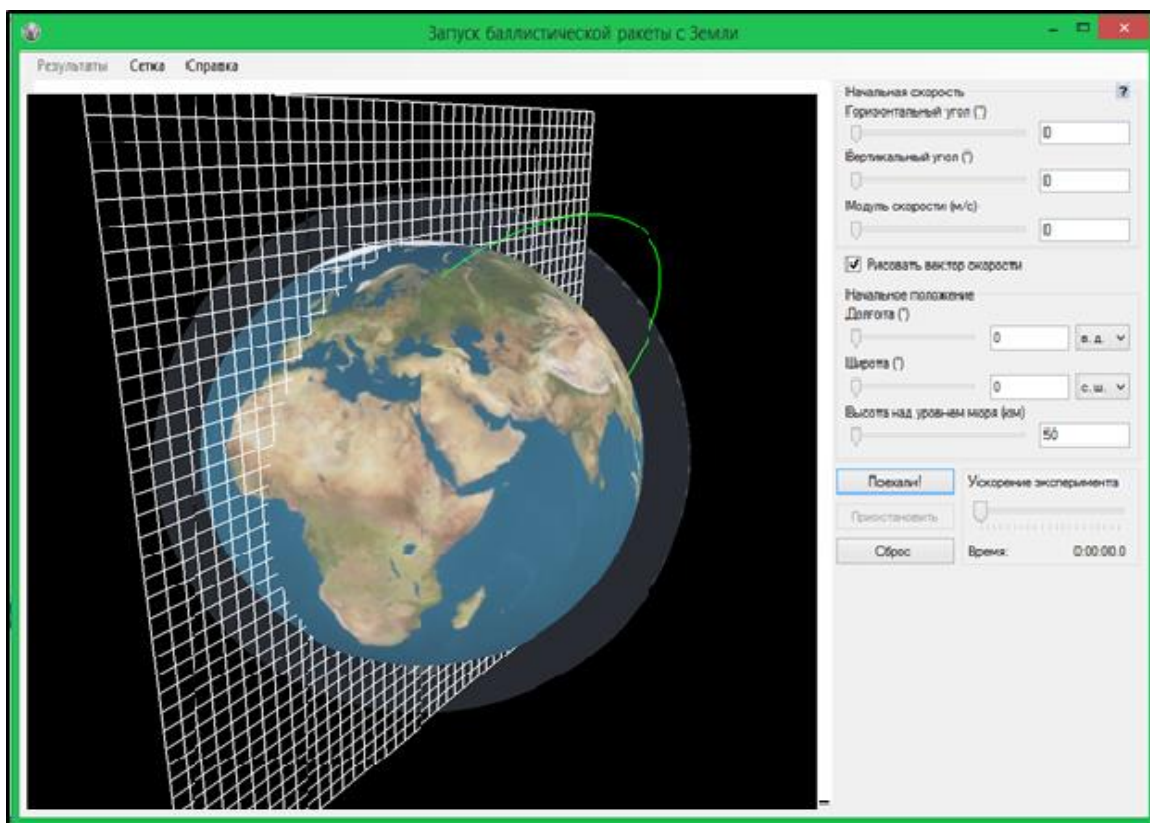


Рисунок 3 — Траектория движения ракеты в виртуальном эксперименте (активизирована сетка для одной из координатных плоскостей)

С помощью компьютерной мыши можно осуществлять требуемые повороты 3D-изображения, например, с целью совмещения плоскости траектории с плоскостью масштабной сетки.

В программную оболочку виртуальной лаборатории встроена *справочная система* (кнопка меню «Справка»), содержащая краткое *описание возможностей интерфейса и сопроводительные методические материалы*.

Разработанная студентами виртуальная лаборатория «Запуск баллистической ракеты с Земли» используется в учебном процессе на кафедре общей физики НГТУ в качестве демонстрационного средства на лекциях по динамике



тел и в элективном курсе компьютерного моделирования при обучении школьников инженерных классов лицеев [4]. С дополнительным методическим обеспечением разработка может быть использована в лабораторном практикуме технического университета для организации и проведения виртуальной лабораторной работы по баллистическому движению.

### *Список литературы*

1. Дмитриевский, А. А. Внешняя баллистика : учебник для вузов / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2005. – 608 с.
2. Иванов, Н. М. Баллистика и навигация космических аппаратов / Н. М. Иванов, Л. Н. Лысенко – 2 изд. – Москва : Дрофа, 2004. – 544 с.
3. Баранов, А. В. Метод виртуальных проектов при изучении основ квантовой механики в техническом университете / А. В. Баранов // Физическое образование в вузах. – 2010. – Т. 16. – № 4. – С. 26–34.
4. Баранов, А. В. Обучение школьников компьютерному моделированию физических процессов в контексте метода научного познания / А. В. Баранов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2014. – № 7 (85). – С. 61–69.
5. Баранов, А. В. Проектная деятельность компьютерного моделирования в физическом практикуме технического университета: организация, требования, критерии оценки / А. В. Баранов // Инновации в образовании. – 2016. – № 10. – С. 158–170.
6. Бутиков, Е. И. Компьютерное моделирование движений космических тел / Е. И. Бутиков. – Санкт-Петербург, 2016. – 302 с.
7. Гарифуллин, Р. И. Электронный комплекс виртуальных лабораторных установок по механике и молекулярной физике / Р. И. Гарифуллин, Е. М. Девяткин // Сборник научных статей международной молодежной школы-семинара «Ломоносовские чтения на Алтае», Барнаул, 5–8 ноября 2013 г. – Барнаул : Издательство Алтайского университета, 2013. – Ч. 3. – С. 309–311.

8. Девяткин, Е. М. Технология организации электронного обучения физике [Электронный ресурс] / Е. М. Девяткин // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 1. – С. 77–82. – URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id = 36896> (дата обращения: 21.11.2018).

УДК 378.011.32-052-056.26:[378.147.1:004.771]

**Баранов А. А., Наумова Т. А.**

**ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ  
ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

*Александр Аркадьевич Баранов*

*доктор психологических наук, профессор*

*aabaranov@mail.ru*

*Татьяна Альбертовна Наумова*

*кандидат психологических наук, доцент*

*ntab4@yandex.ru*

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, Ижевск*

**PSYCHOLOGICAL BASES AND TECHNOLOGY OF DISTANCE  
LEARNING FOR PERSONS WITH DISABILITIES**

*Alexander Arkadevich Baranov*

*Doctor of Psychology, Professor*

*Tatyana Albertovna Naumova*

*Candidate of Psychology, associate professor*

*Udmurt State University, Russia, Izhevsk*

*Аннотация. В статье проведен анализ наиболее часто используемых в процессе обучения дидактических технологий. Представлены психологопедагогические основания конструирования и авторская технология дистанционного образования лиц с ограниченными возможностями здоровья.*