

## ◆◆◆КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ◆◆◆

УДК 004.921

# Исследование и разработка методов моделирования и анимации трехмерных объектов

**Чернышов Л.Н.\***

Московский авиационный институт (МАИ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1512-4052>  
e-mail: [levchern@gmail.com](mailto:levchern@gmail.com)

**Захарова Е.Д.\*\***

Московский авиационный институт (МАИ),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9220-0514>  
e-mail: [eugenezaharova@gmail.com](mailto:eugenezaharova@gmail.com)

В статье рассматриваются уже известные методы моделирования трехмерных объектов с их последующей анимацией. Предлагается комбинированный метод моделирования, включающий в себя особенности известных методов, который сокращает время проектирования модели, сохраняя при этом ее реалистичность.

**Ключевые слова:** моделирование, анимация, методы моделирования, трехмерные объекты, реалистичность.

### Для цитаты:

*Чернышов Л.Н., Захарова Е.Д.* Исследование и разработка методов моделирования и анимации трехмерных объектов // Моделирование и анализ данных. 2020. Том 10. № 3. С. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2020100304>

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность реалистичности компьютерной графики в последние годы заметно возросла. Практически на каждом шагу мы встречаемся с ее проявлениями, от филь-

\**Чернышов Лев Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной математики и программирования, Московский авиационный институт (МАИ), Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1512-4052>, e-mail: [levchern@gmail.com](mailto:levchern@gmail.com)

\*\**Захарова Евгения Дмитриевна*, студентка 2 курса магистратуры, Московский авиационный институт (МАИ), Москва, Россия, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9220-0514>, e-mail: [eugenezaharova@gmail.com](mailto:eugenezaharova@gmail.com)



мов и компьютерных игр до GPS-навигаторов и проектирования техники. Однако реалистичность в вопросах компьютерной графики по-прежнему остается камнем преткновения, а любое неестественное движение персонажа в фильме или неточность в механизме вызывает шквал критики в адрес создателей и аниматоров.

Вопросам исследования методов моделирования посвящено много работ [1, 2, 3, 4], но, как можно видеть в повседневной жизни, проблема реалистичной графики остается не просто живой и актуальной – она является одной из самых острых задач из когда-либо поставленных перед программистами.

Реалистичность компьютерных трехмерных моделей и их анимация в последнее время вышла на новый уровень, особенно в тех случаях, когда моделирование касается объектов живой природы. Но здесь возникает проблема реализации таких моделей – на подобную работу уходит очень много времени и дополнительных затрат, а также требует глубоких знаний анатомии моделируемых объектов. С теми же трудностями сталкиваются специалисты, занимающиеся моделированием технических объектов.

Работа посвящена сравнению уже существующих методов моделирования трехмерных объектов, их эффективности и реалистичности результата. Целью исследования является разработка нового метода моделирования, позволяющего сократить время проектирования и уменьшить сложность создания модели, сохранив при этом реалистичность результата.

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНИМАЦИИ**

На данный момент среди наиболее используемых методов компьютерного моделирования можно выделить четыре. Реалистичность результатов каждого метода варьируется, как и время проектирования модели. Рассмотрим каждый из методов чуть подробнее.

Технология блендшейпов предполагает работу с человеческими моделями и направлена на реалистичное воспроизведение черт лица. Создается несколько крайних точек и в них фиксируется то или иное выражение лица, например, улыбка или удивление.

Скелетная анимация позволяет создать модель объекта с нуля. Проектируется каркас объекта – скелет – в виде древообразной структуры костей. Каждая кость связана с предыдущей, а каждая вершина – с какой-либо костью. При движении отдельной кости двигаются все вершины, что создает довольно реалистичную анимацию. Именно этот способ чаще других применяется в мультипликации.

Технология захвата движений активно используется в кинематографе и предусматривает размещение специальных датчиков на костюме человека, который затем имитирует движение того или иного объекта, а датчики фиксируют его положение.

Система мышц, пожалуй, наиболее эффективный и наиболее сложный метод компьютерного моделирования. В процессе проектирования к скелету модели в соответствии с анатомическими особенностями прикрепляются так называемые мышцы, которые имитируют реальную мышечную массу, после чего им задается динамическое поведение. В итоге получается реалистичная картинка.



В ходе исследования было сделано подробное сравнение перечисленных методов компьютерного моделирования, проведен анализ каждого метода с учетом затрачиваемого времени проектирования, сложности модели, степени реалистичности и дополнительных затрат. Ниже представлена таблица 1 с результатами сравнения.

Таблица 1

### Сравнительный анализ методов компьютерного моделирования

	Блендшейпы	Скелетная анимация	Захват движений	Система мышц
Временные затраты	средне	долго	средне	долго
Сложность проектирования	средне	сложно	легко	сложно
Сложность при создании реалистичности	сложно	сложно	легко	средне
Возможность внесения изменений	нет	да	нет	да
Дополнительные затраты	нет	нет	да	нет
Дополнительные знания	нет	нет	да	да

В результате сравнения было выявлено, что наиболее эффективным из перечисленных методов стала система мышц – но она же является довольно сложной технологией и занимает много времени. Также стоит отметить, что не каждый специалист сможет ей воспользоваться без предварительной подготовки и должных знаний в анатомии.

## ХОД ИССЛЕДОВАНИЯ

После сравнительного анализа уже существующих методов компьютерного моделирования возник вопрос разработки такого метода, который будет менее сложен в использовании, займет меньше времени на проектирование модели, но в результате даст такую же реалистичную модель. Были более подробно изучены скелетная анимация и система мышц, и в результате решение оказалось очень простым – комбинированный метод, включающий в себя особенности скелетной анимации и системы мышц.

Если рассматривать стандартные методы использования системы мышц, можно заметить, что огромная доля времени уходит на создание полного полигонального скелета объекта и прикрепление мышц к нему. Однако можно отказаться от полигонального скелета и крепить мышцы непосредственно к скелетной системе управления – небольшому скелетному каркасу, отвечающему за большую часть движений объекта, – а также сократить количество мышц до минимума, оставив только те, что будут четче всего выражены при анимации.



Таким образом, весь алгоритм проектирования модели по комбинированному методу сводится к следующим шагам:

1. Создание первоначального эскиза модели. Подробное описание модели в различном ракурсе, изучение общей анатомии модели.
2. Проектирование по эскизу трехмерной модели без скелетной системы управления, мышц и текстур. Наложение полигональной сетки для дальнейшей анимации модели.
3. Создание скелетной системы управления. Основной каркас модели без подробных анатомических деталей, отвечающий за ее движения. Скелетную систему управления лучше всего создавать, если модель – особенно в случае объекта живой природы – находится в нейтральной спокойной позе.
4. Распределение весов взаимодействия полученного скелета с кожным покровом. Указывается степень воздействия костей на ту или иную вершину модели для максимально реалистичного результата.
5. Прикрепление ярко выраженных мышц к скелетной системе управления.
6. Распределение весов взаимодействия мышц с кожным покровом.
7. Наложение текстуры. Создание кожного покрова модели.

Такой подход существенно сокращает время моделирования и уменьшает объем работы, при этом результат по-прежнему остается достаточно реалистичным и не требует от разработчика углубленных знаний анатомии. Преимущества и недостатки разработанного метода перечислены в таблице 2.

Таблица 2

### Преимущества и недостатки комбинированного метода компьютерного моделирования

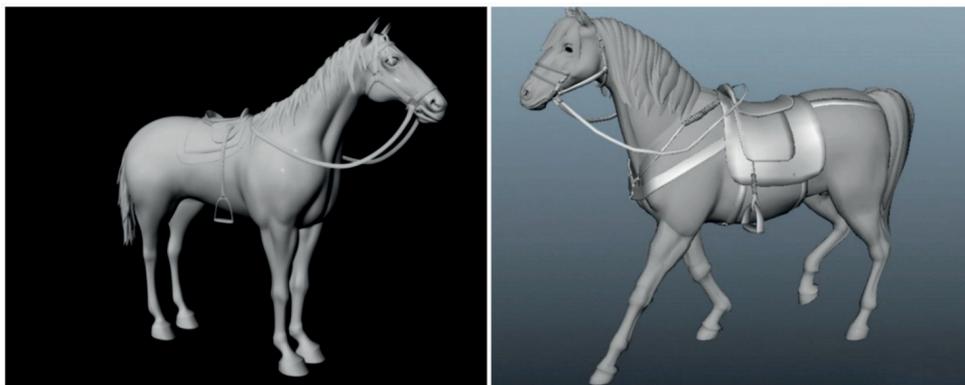
Преимущества	Недостатки
Сокращение затрат по времени	Средняя реалистичность по сравнению с классической схемой работы с системой мышц
Уменьшение объектов моделирования по сравнению с классической схемой работы с системой мышц	Создание только самых необходимых мышц влечет отсутствие эффекта скольжения
Углубленные знания анатомии не требуются	
Отсутствие необходимости создания дополнительных полигональных объектов	

## АПРОБАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предложенный метод был использован при создании моделей в программе Maya. Было создано две модели – одна по стандартному методу скелетной анимации, вторая по комбинированному методу.

В случае с первой моделью время разработки заняло 56 часов. Был настроен полный полигональный скелет объекта, создан каркас модели, применены текстуры.

Создание второй модели заняло 40 часов. Была построена скелетная система управления в виде основного скелетного каркаса, отвечающего за движение модели. Затем к нему были прикреплены мышцы, визуально наиболее заметные при движении модели, после чего также были применены текстуры. На рисунке 1 представлены результаты проектирования обеих моделей.



*Рис. 1. Результаты проектирования моделей по методу скелетной анимации (слева) и комбинированному методу (справа)*

Как можно видеть, реалистичность второй модели не уступает первой, но при этом время создания моделей существенно отличается. Больше всего времени при работе с первой моделью было уделено созданию полного скелета объекта, хотя большая часть костей не участвует в движении. Кроме того, было трудно воссоздать полный скелет в соответствии с анатомией объекта. При проектировании второй модели таких сложностей не возникло.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование моделирования трехмерных объектов является интересной и актуальной задачей. Для сравнительного анализа существующих методов моделирования была подробно изучена предметная область и проанализированы наиболее эффективные методы моделирования. Анализ показал, что практически все используемые методы либо слишком сложны в проектировании, либо слишком затратны по времени.

Был предложен комбинированный метод моделирования, включающий в себя особенности наиболее эффективных методов моделирования – скелетной анимации и системы мышц. В процессе апробации было выявлено, что комбинированный метод занимает меньше времени при создании моделей, он менее сложен в использовании, а полученная модель обладает достаточной реалистичностью.

Предложенный метод можно использовать не только в мультипликации и кинематографе. С его помощью можно спроектировать краш-тесты в областях автомобилестроения для предотвращения аварийных ситуаций, спрогнозировать состояние



пилота во время полета или определить степень безопасности отдельных инженерных разработок. Кроме того, подобная техника моделирования позволит подготовить большее количество специалистов, результаты работы которых будут не хуже работы сегодняшних профессионалов, которую мы видим в повседневной жизни.

### *Литература*

1. Флеминг Б., Доббс Д. Методы анимации лица. Мимика и артикуляция [пер. с англ.]; под общ. ред. Козицкой Е.А. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 333 с.
2. Мараффи К. Создание персонажей в Maya: моделирование и анимация [пер. с англ. и ред. В.А. Коваленко]. – М. : ООО И.Д. Вильямс, 2004. – 441 с.
3. Кундерт-Гиббс Д., Ларкинс М., Деракшани Д., Кунзендорф Э. Освоение Maya 8.5 [Текст]. – М. : ООО И.Д. Вильямс, 2007. – 928 с.
4. Lewis J.P., Cordner M., Fong N. Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. – SIGGRAPH '00. – New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000. – pp. 165–172.



## Research and Development of Simulation Methods and Animation of Three-Dimensional Objects

**Lev N. Chernyshov\***

Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1512-4052>  
e-mail: [levchern@gmail.com](mailto:levchern@gmail.com)

**Eugene D. Zakharova\*\***

Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9220-0514>  
e-mail: [eugenezaharova@gmail.com](mailto:eugenezaharova@gmail.com)

The article discusses already known methods of modeling three-dimensional objects with their subsequent animation. A combined modeling method is proposed, which includes the features of known methods, which reduces the design time of the model, while maintaining its realism.

**Keywords:** modeling, animation, methods of modeling, three-dimensional objects, realism.

### For citation:

Chernyshov L.N., Zakharova E.D. Research and Development of Simulation Methods and Animation of Three-Dimensional Objects. *Modelirovanie i analiz dannykh = Modelling and Data Analysis*, 2020. Vol. 10, no. 3, pp. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.17759/mda.2020100304> (In Russ.).

### References

1. Fleming B., Dobbs D. *Animating Facial Features and Expressions*, 2002. (In Russ.).
2. Maraffi C. *Maya Character Creation: Modeling and Animation Controls*, 2003. (In Russ.).
3. Kundert-Gibbs J., Larkins M., Derakhshani D., Kunzendorf E. *Mastering Maya 8.5*. Wiley, 2007. (In Russ.).
4. Lewis J.P., Corder M., Fong N. *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. – SIGGRAPH '00. – New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000. – pp. 165–172.

\***Lev N. Chernyshov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Computational Mathematics and Programming, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1512-4052>, e-mail: [levchern@gmail.com](mailto:levchern@gmail.com)

\*\***Eugene D. Zakharova**, 2nd year MSc student, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9220-0514>, e-mail: [eugenezaharova@gmail.com](mailto:eugenezaharova@gmail.com)