

# КАРКАСЫ ДЛЯ КУКОЛЬНОЙ АНИМАЦИИ

Т е х н и ч е с к о е   р у к о в о д с т в о   и  
ч е р т е ж и  
д л я   3D-п е ч а т и   н а   SLA   п р и н т е р а х

В е р с и я   1.0

Super Z AI Assistant

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. В в е д е н и е

Обзор технологии и область применения

## 2. Т и п ы ш а р н и р н ы х с о е д и н е н и й

Шаровые, шарнирные и универсальные суставы

## 3. К о м п о н е н т ы к а р к а с а

Детальное описание всех частей

## 4. Т е х н и ч е с к и е ч е р т е ж и

Геометрия и размеры

## 5. Н а с т р о й к и SLA п е ч а т и

Рекомендации по печати

## 6. С б о р к а и м о н т а ж

Инструкции по сборке

## 7. B l e n d e r с к р и п т

Использование генератора моделей

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Каркасы для кукольной анимации (puppet armatures) представляют собой сложные механические системы, обеспечивающие подвижность и устойчивость анимационных кукол.

Качественный каркас является основой любого stop-motion проекта, позволяя аниматору точно позиционировать персонажа и фиксировать необходимые позы на протяжении множества кадров съёмки. Современные технологии SLA 3D-печати открывают новые возможности для создания прецизионных шарнирных соединений с точностью до 25 микрон.

Данное руководство содержит полную техническую документацию для самостоятельного изготовления каркасов кукол различной сложности: от простых моделей для начинающих аниматоров до профессиональных систем с большим количеством степеней свободы. Все чертежи и модели оптимизированы для печати на SLA принтерах с учётом особенностей фотополимерных смол и требований к минимальной толщине стенок. Прилагаемый Blender Python скрипт позволяет генерировать готовые 3D модели с настраиваемыми параметрами.

## 1.1 Область применения

Разработанные каркасы предназначены для использования в следующих областях кукольной анимации: создание stop-motion фильмов и сериалов с покадровой съёмкой; производство рекламных роликов с анимированными персонажами; театральные постановки с кукельными актёрами; художественные инсталляции и интерактивные экспонаты; образовательные проекты по анимации; прототипирование

персонажей для последующего тиражирования. Модульная система соединений позволяет адаптировать базовые конструкции под конкретные требования проекта.

## 1.2 Преимущества SLA технологии

Стереолитографическая 3D-печать (SLA) обладает рядом критических преимуществ для производства шарнирных соединений кукольных каркасов. Высокое разрешение печати (до 25 мкм) обеспечивает прецизионную геометрию шаровых и шарнирных сочленений, критически важную для плавности движения. Фотополимерные смолы позволяют создавать детали с гладкой поверхностью без слоистости, характерной для FDM печати, что существенно снижает трение в суставах. Возможность печати сложных геометрий с внутренними полостями позволяет создавать лёгкие, но прочные компоненты с продуманной топологией. Разнообразие материалов включает прочные, гибкие и износостойкие смолы для различных типов нагрузки.

## 2. ТИПЫ ШАРНИРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 2.1 Шаровые соединения (Ball-and-Socket)

Шаровые соединения представляют собой наиболее универсальный тип суставов для кукольной анимации. Конструкция состоит из сферического элемента (шара) и охватывающего его гнезда с hemisphere cut. Такая геометрия обеспечивает три степени свободы: сгибание–разгибание, отведение–приведение, и вращение вокруг продольной оси. Плавность движения и сила удержания позиции регулируются соотношением диаметров шара и гнезда, а также трением поверхностей. Для типичных кукол высотой 200–300 мм оптимальный диаметр шара составляет 4–8 мм с зазором 0.15–0.20 мм для свободного хода.

Применение шаровых соединений: шейный отдел (обеспечивает поворот и наклон головы); плечевые суставы (максимальная подвижность руки); тазобедренные суставы (поддержка веса и движение ноги); запястные и голеностопные суставы (точная ориентация кисти и стопы). Ключевое преимущество шаровых соединений — компактность при большом диапазоне движений, что критично для кукольных персонажей ограниченного размера.

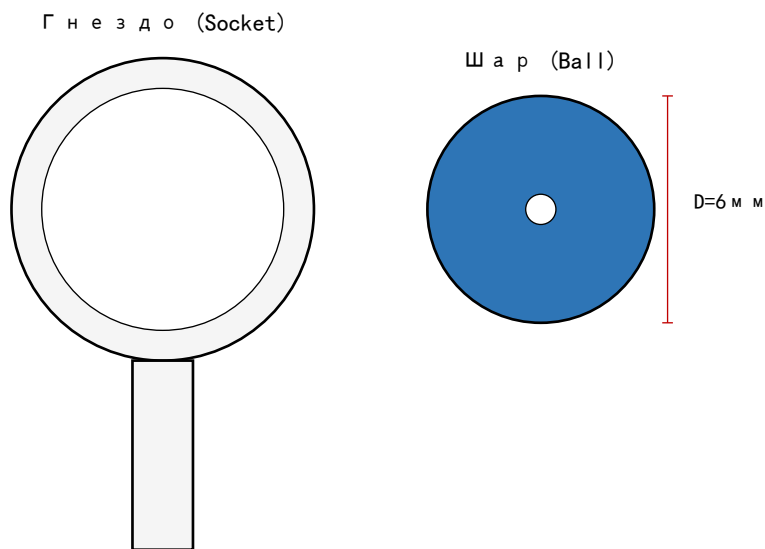


Рис. 1. Шаровое соединение (Ball-and-Socket Joint): гнездо с входным отверстием и шар

## 2.2 Шарнирные соединения (Hinge Joints)

Шарнирные соединения ограничивают движение одной плоскостью, обеспечивая сгибание и разгибание вокруг фиксированной оси. Конструкция состоит из двух сопрягаемых цилиндрических элементов: внешнего с пазом и внутреннего с выступом. Одноосевая геометрия обеспечивает более высокую жёсткость в направлении перпендикулярном оси вращения по сравнению с шаровыми соединениями аналогичного размера. Это делает шарниры оптимальным выбором для суставов с преобладающим плоским движением: локтевых, коленных, фаланг пальцев. Типичный диаметр шарнира для локтя куклы 250 мм составляет 6–8 мм с толщиной элементов 3–4 мм.



Р и с . 2. Ш а р н и р н о е с о е д и н е н и е (Hinge Joint): ч а с т и А и В д л я  
о д н о п л о с к о с т н о г о д в и ж е н и я

## 3. КОМПОНЕНТЫ КАРКАСА

### 3.1 Осевой скелет (Axial Skeleton)

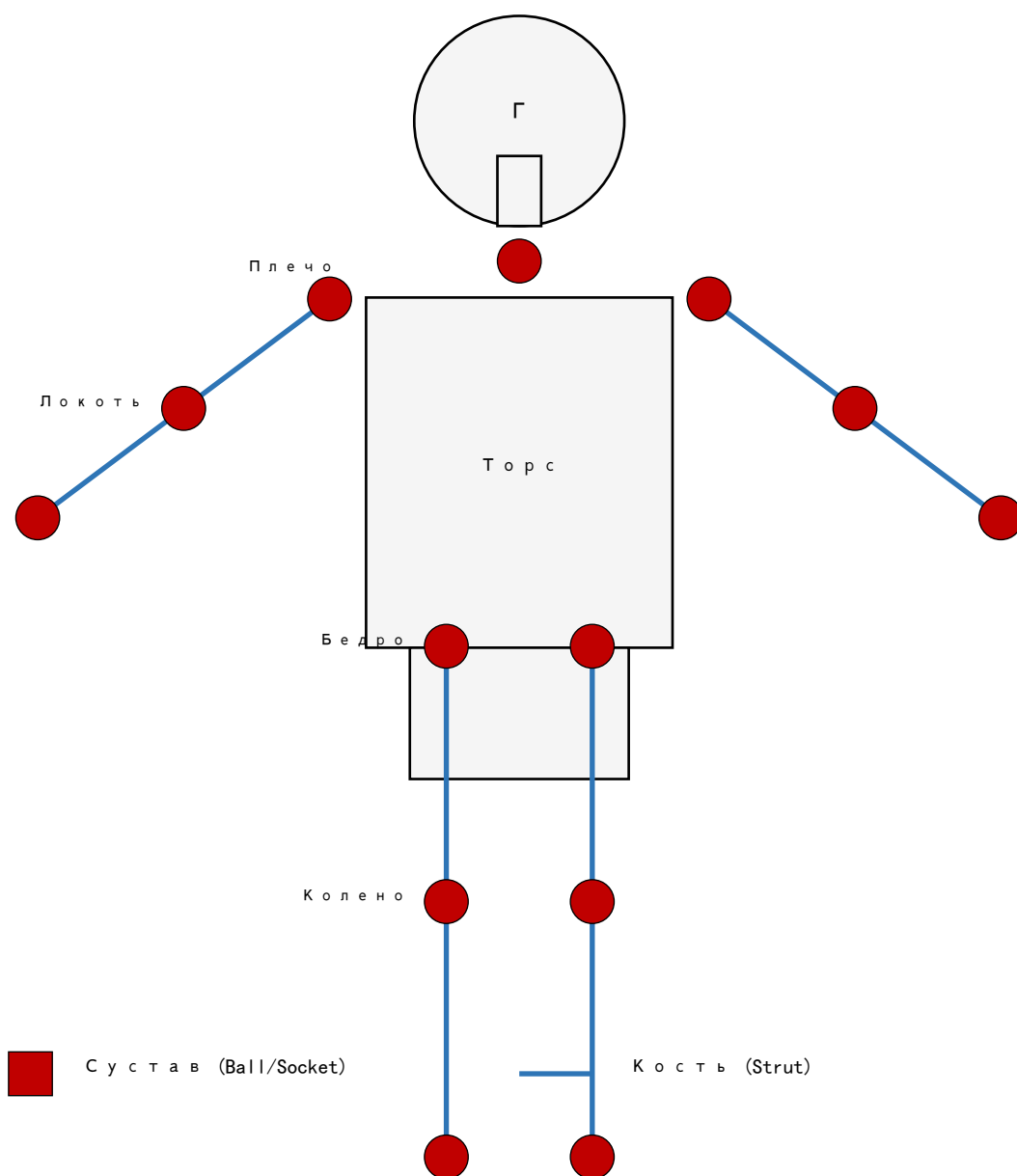
Осевой скелет составляет структурную основу куклы и включает голову, шею, торс и таз. Голова выполняется в виде полый сферы или эллипсоида с креплением для лицевой пластины (replacement face system) или подвижной челюсти. Шейный модуль содержит шаровое соединение с вертикальным стержнем, проходящим через торсктазу — эта конструкция обеспечивает жёсткость позвоночника при сохранении подвижности шеи. Торс изготавливается из лёгкого каркаса с монтажными площадками для плечевых и тазобедренных суставов. Таз служит центральным узлом соединения ног и поддержки всей конструкции в вертикальном положении.

### 3.2 Верхние конечности

Верхняя конечность состоит из плечевого сустава (шаровой), плечевой кости (стержень), локтевого сустава (шарнирный или шаровый), лучевой кости (стержень), запястного сустава (шаровой) и кисти. Плечевой сустав монтируется на торсе с возможностью регулировки положения в пределах 10–15 мм для настройки пропорций. Плечевая и лучевая кости изготавливаются из полых стержней диаметром 3–4 мм с внутренним каналом для проводки арматуры. Кисть выполняется как единый модуль с суставами пальцев либо снабжается сменными положениями (replacement hands). Общая длина руки для куклы 250 мм составляет 90–110 мм от плеча до кончиков пальцев.

### 3.3 Нижние конечности

Нижняя конечность обеспечивает опорную функцию и включает тазобедренный сустав (шаровой), бедренную кость (стержень), коленный сустав (шарнирный), большеберцовую кость (стержень), голеностопный сустав (шаровой) и стопу. Тазобедренные суставы несут основную нагрузку веса куклы и требуют увеличенного диаметра шара (8–10 мм для куклы 250 мм). Коленный сустав выполняется шарнирным с ограничителем разгибания для естественности позы. Стопа изготавливается с плоской опорной поверхностью и креплением для магнитов или штифтов для фиксации на съёмочной площадке. Общая длина ноги составляет 100–130 мм для куклы высотой 250 мм.



Р и с . 3. С х е м а г у м а н о и д н о г о к а р к а с а с о б о з н а ч е н и е м о с н о в н ы х с у с т а в о в

## 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

### 4.1 Размеры компонентов

В таблице ниже приведены рекомендуемые размеры компонентов для куклы высотой 200–250 мм. Для других масштабов следует пропорционально изменить все линейные размеры. Критически важно соблюдать зазоры между подвижными частями: увеличение зазора снижает точность позиционирования, уменьшение — приводит к заеданию. Все размеры указаны в миллиметрах.

Компоне нт	Параметр	Значени е (мм)	Примечание
Шаровой сустав	Д шара	6.0	Стандартны й
	Д гнезда внутр.	6.15	Зазор 0.15 мм
	Толщина стенки	1.5	Минимум для SLA
Кость/с тержень	Диаметр	2.5 – 4.0	Зависит от размера
	Отверсти е	1.0	Под провол оку
Шарнир (hinge)	Д внешний	8.0	
	Д внутрен ний	5.0	
Торс	Ширина	25 – 40	
	Высота	35 – 50	

Таблица 1. Размеры компонентов каркаса

### 4.2 Допуски и посадки

Для обеспечения работоспособности шарнирных соединений критически важен правильный выбор

допусков. Шаровые соединения требуют зазора 0.15–0.20 мм между диаметром шара и внутренним диаметром гнезда. Меньший зазор приводит к заклиниванию, больший — к избыточному люфту. Для SLA печати необходимо учитывать усадку материала: типичная усадка фотополимерных смол составляет 0.5–1.0% в зависимости от состава и режима пост-обработки. Рекомендуется изготавливать тестовые образцы для калибровки конкретного принтера и материала перед печатью основных деталей.

## 5. НАСТРОЙКИ SLA ПЕЧАТИ

### 5.1 Рекомендуемые параметры

Оптимизация параметров печати критически влияет на качество шарнирных соединений. Толщина слоя определяет точность геометрии: для суставов рекомендуется 25–50 мкм. Время экспозиции подбирается под конкретную смолу с учётом требуемой твёрдости поверхности. Плотность поддержек выбирается минимально достаточной для предотвращения деформаций, поскольку следы от поддержек на рабочих поверхностях суставов могут нарушить плавность хода.

П а р а м е т р	Р е к о м е н д у е м о е з н а ч е н и е	П р и м е ч а н и е
С л о й п е ч а т и	0.025 – 0.05 мм	В ы с о к о е р а з р е ш е н и е
З а з о р д л я д в и ж е н и я	0.15 – 0.20 мм	Д л я с в о б о д н о г о х о д а
Т о л щ и н а с т е н к и м и н.	1.0 – 1.5 мм	З а в и с и т о т с м о л ы
П о д д е р ж к и	Л ё г к и е / С р е д н и е	М и н и м и з и р о в а т ь с л е д ы
О р и е н т а ц и я	С у с т а в ы в н и з	Л у ч ш е е к а ч е с т в о
П о с т о б р а б о т к а	UV + П р о м ы в к а	П о и н с т р у к ц и и с м о л ы

Т а б л и ц а 2. Р е к о м е н д у е м ы е п а р а м е т р ы S L A п е ч а т и

### 5.2 Ориентация деталей на платформе

Правильная ориентация деталей при печати существенно влияет на качество шарнирных поверхностей. Рекомендуется располагать суставы так, чтобы рабочие поверхности (шары,

внутренние поверхности гнезд) были направлены вверх или в стороны, но не вниз. Это минимизирует количество поддержек на критических поверхностях. Угол наклона 30–45 градусов часто даёт оптимальный баланс между качеством поверхности и сложностью поддержки. Для полых деталей необходимо предусмотреть дренажные отверстия диаметром 2–3 мм для вытекания неотверждённой смолы.

## 5.3 Пост-обработка

После печати детали требуют промывки в изопропиловом спирте (IPA) для удаления остатков жидкой смолы. Время промывки: 10–15 минут в свежем IPA с последующим ополаскиванием. После промывки детали сушат на воздухе или обдувают сжатым воздухом. Дополнительная UV-полимеризация завершает процесс отверждения: время и интенсивность подбираются под конкретный материал. Важно не переполимеризовать детали — избыточное UV-воздействие приводит к повышенной хрупкости. Шлифовка рабочих поверхностей суславо мелкой наждачной бумагой (P600–P1000) улучшает плавность хода, но требует аккуратности для сохранения геометрии.

## 6. СБОРКА И МОНТАЖ

### 6.1 Подготовка деталей

Перед сборкой все напечатанные детали необходимо проверить на наличие дефектов: трещин, непропечатанных участков, искажений геометрии. Рабочие поверхности суставов осматривают на предмет следов от поддержек и при необходимости зачищают. Отверстия под арматуру проверяют калибровочным стержнем. Для смазки шарниров рекомендуется использовать сухую тефлоновую смазку или силиконовый спрей — жидкие масла могут вытекать и оставлять следы на съёмочной площадке.

### 6.2 Последовательность сборки

Рекомендуемая последовательность сборки гуманоидного каркаса: (1) Сборка осевого скелета — соединение головы, шеи, торса и таза с прокладкой арматурного стержня; (2) Монтаж плечевых суставов на торсе с регулировкой ширины плеч; (3) Сборка рук — последовательное соединение плечо-локоть-предплечье-запястье-кисть; (4) Монтаж собранных рук на плечевые суставы; (5) Установка тазобедренных суставов в таз с регулировкой угла разведения; (6) Сборка ног — бедро-колени-голень-голеностоп-стопа; (7) Монтаж собранных ног на тазобедренные суставы; (8) Финальная регулировка всех суставов и проверка диапазона движений.

### 6.3 Усиление каркаса

Для кукол с большим весом или при необходимости дополнительной жёсткости применяется усиление каркаса. Основным методом — прокладка металлической арматуры через

внутренние каналы костей-стержней. Используются проволока из нержавеющей стали диаметром 0.8-1.5 мм, прутки из титанового сплава, или углепластиковые стержни. Арматура крепится в суставах эпоксидным клеем или механическими замками. Альтернативный метод — заливка полостей эпоксидной смолой с наполнителем для увеличения прочности без значительного прироста веса.

## 7. BLENDER СКРИПТ

### 7.1 Обзор генератора моделей

Прилагаемый Python скрипт для Blender 3D позволяет генерировать готовые 3D модели каркасов с настраиваемыми параметрами. Скрипт поддерживает три типа каркасов: гуманоидный (полный набор суставов для человекоподобного персонажа), упрощённый (минимум деталей для начинающих), и четвероногий (собака/кошка). Все модели автоматически разбиваются на части, организуются в коллекции по категориям, и снабжаются материалами для визуализации. Размеры компонентов вычисляются на основе масштабного коэффициента, что позволяет легко адаптировать каркас под требуемый размер куклы.

### 7.2 Инструкция по использованию

Для работы со скриптом необходимо: (1) Установить Blender версии 3.0 или выше; (2) Открыть файл `blender_puppet_armature.py` в редакторе скриптов Blender (вкладка Scripting); (3) Нажать Run Script (Alt+P) для генерации модели; (4) При необходимости изменить параметры в блоке `PuppetArmatureSettings` и перезапустить скрипт; (5) Для экспорта в STL установить `export_stl=True` и указать путь `output_dir`; (6) Сохранить сгенерированные файлы для печати. Скрипт автоматически очищает сцену перед генерацией, поэтому сохраните важные данные заранее.

### 7.3 Настраиваемые параметры

Класс `PuppetArmatureSettings` содержит все настраиваемые параметры каркаса. `scale_factor` — общий масштаб модели (1.0 = кукла высотой ~200 мм); `ball_radius` — радиус шаров в суставах (стандарт 3.0 мм); `socket_gap`

— зазор между шаром и гнездом (0.15 мм для SLA);bone\_diameter — диаметр костей-стержней (2.5 мм);bone\_hole\_diameter — диаметр отверстия под арматуру (1.0мм). Изменение этих параметров автоматически пересчитывает все зависимые размеры при генерации.

## Приложение: Файлы проекта

- ☐ blender\_puppet\_armature.py — Python скрипт генератора для Blender
- ☐ puppet\_armature\_guide.pdf — данное техническое руководство
- ☐ STL файлы отдельных компонентов (генерируются скриптом)