

КАРКАСЫ ДЛЯ КУКОЛЬНОЙ АНИМАЦИИ

Техническое руководство и
чертежи
для 3D-печати на SLA принтерах

Версия 1.0

Super Z AI Assistant

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение

Обзор технологии и область применения

2. Типы шарнирных соединений

Шаровые, шарнирные и универсальные системы

3. Компоненты каркаса

Детальное описание всех частей

4. Технические чертежи

Геометрия и размеры

5. Настройки SLA печати

Рекомендации по печати

6. Сборка и монтаж

Инструкции по сборке

7. Blender скрипт

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 кукольными 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.

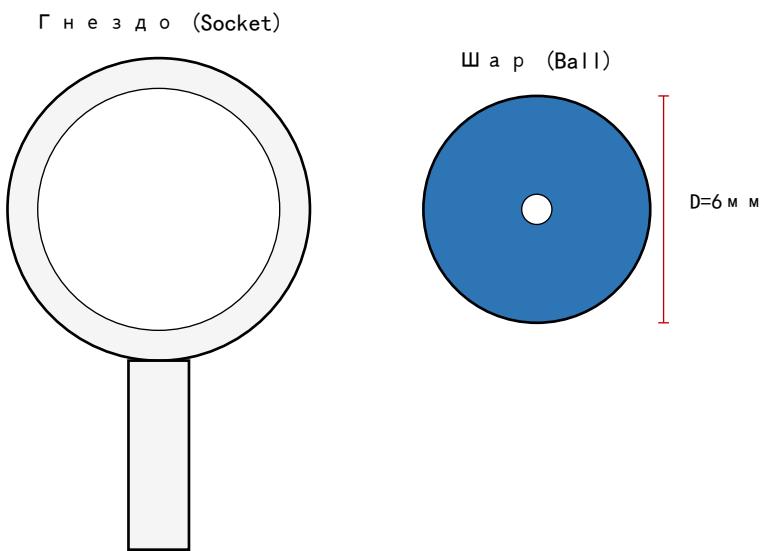


Рис. 1. Шаровое соединение (Ball-and-Socket Joint): гнездо с входным отверстием и шар

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.



Рис. 2. Шарнирное соединение (Hinge Joint): части А и В для одноплоскостного движения

3. КОМПОНЕНТЫ КАРКАСА

3.1 Осевой скелет (Axial Skeleton)

О с е в о й скел ет со с тав ля ет ст ру кту рн ую ос н ов у ку кл ы и в клю чает голову, ше ю, тор с и таз. Голова вы полня ет ся в ви де по лой сферы или эл липсо ида с креплени ем для лице вой пластины (*replacement face system*) или подвижной челюсти. Шей ный модуль со держит шаровое соединение с вертикал ым стер жнем, про ходящим че ре з тор с к тазу — эта конст рукция обес печивает жёсткость позвоночника при со хранении подвижности шеи. Торс изготавливается из лёгкого каркаса с монта жными пло щадками для плечевых и тазобедренных суставов. Таз служит центральным узлом соединения ног и поддержки всей конст рукции в вертикал ым положении.

3.2 Верхние конечности

Верхн яя конечн ость со с тоит из плечевого сустава (шаровой), плечево й кости (стержень), локтевого сустава (шарнирный или шаровы й), лучево й кости (стержень), запястного сустава (шаровой) и кисти. Плечево й 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 выполнена как единий модуль с суставами пальцев либо снабжается сменными положениями (*replacement hands*). Общая длина руки для куклы 250 мм со с тавляет 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 съемочной площадке. Общая длина ноги составляет 100–130 мм для куклы высотой 250 мм.

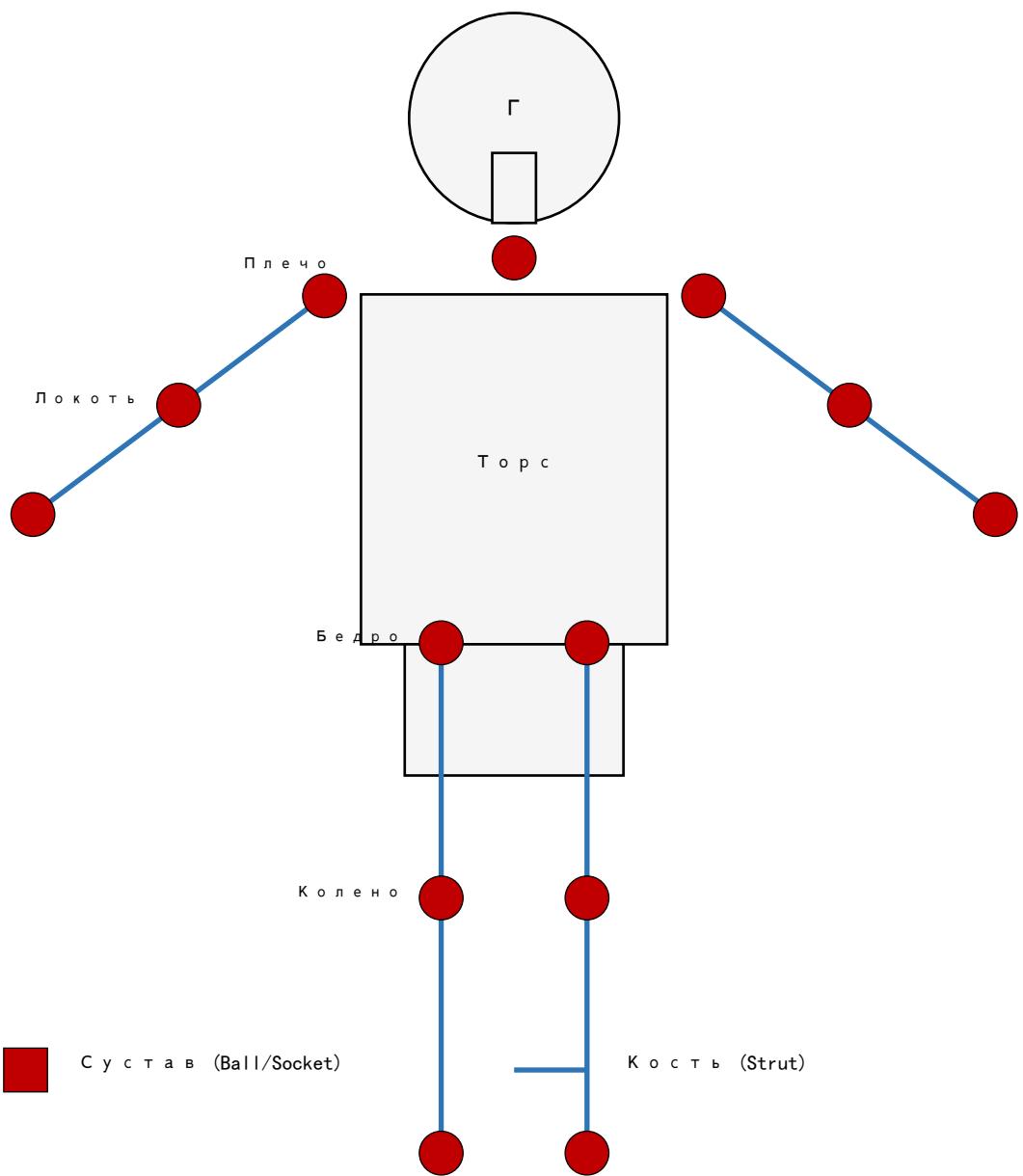


Рис. 3. Схема гуманоидного каркаса с обозначением основных суставов

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.

Компонент	Параметр	Значение (мм)	Примечание
Шаровой сустав	Диаметр шара	6.0	Стандартный
	Диаметр гнезда внутр.	6.15	Зазор 0.15 мм
	Толщина стенки	1.5	Минимум для SLA
Кость/стержень	Диаметр	2.5 – 4.0	Зависит от размера
	Отверстие	1.0	Под проволоку
Шарнир (hinge)	Двнешний	8.0	
	Двнутренний	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.

Параметр	Рекомендуемое значение	Примечание
Слой печати	0.025 – 0.05 мм	Высокое разрешение
Зазор для движения	0.15 – 0.20 мм	Для свободного хода
Толщина стенки мин.	1.0 – 1.5 мм	Зависит от смолы
Поддержки	Лёгкие/Средние	Минимизировать следы
Ориентация	Суставы вниз	Лучшее качество
Постобработка	UV + Промывка	По инструкции смолы

Таблица 2. Рекомендуемые параметры SLA печати

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 гнёзд) были направлены вверх или в стороны, но не вниз.

Это минимизирует количество поддержек накритических 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 суставов 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 тefлоновую смазку или силиконовый спрей — жидкые 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-колено-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. Основной метод — 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 беззначительного 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 человека подобного персонажа), упрощённый (минимум деталей для начинаяющих), 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 (1.0 мм). 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)