Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки /специальность 09.04.04 -Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____А.В. Бушманов
«_____»_____2024 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Разработка информационно-аналитической системы для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека.

Исполнитель
студент группы 2105-ом _____ Юй Хэцин
(подпись, дат-

Руководитель
доцент, канд. техн. наук _____ А.В. Бушманов
(подпись, дата)

Руководитель научного
содержания программы
магистратуры
профессор, док. техн. наук _____ И.Е. Еремин
(подпись, дат-

Нормоконтроль
доцент, канд. техн. наук _____ Т.А.Галаган
(подпись, дат-

Рецензент
доцент, канд. техн. наук _____ А.А. Тодосейчук
(подпись, дат-

Благовещенск 2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____А.В. Бушманов
«_____»_____2024 г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Хэцин Юй

1.Тема выпускной квалификационной работы: Разработка информационно-аналитической системы для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека.

(Утверждено приказом от _____ № _____)

2.Срок сдачи студентом законченной работы (проект- 10.06.2024 г.

3.Исходные данные к выпускной квалификационной работе: предметная область, отчеты по практической подготовке, программа

4.Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросо-: анализ предметной области проводимого исследования, алгоритмическое и программное обеспечение решения поставленной задачи, разработка и реализация программного продукта

5.Дата выдачи задания: 30.01.2024 г.

6.Руководитель выпускной квалификационной работы: Бушманов Александр Вениаминович, доцент, канд. техн. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, уч. степень, уч. звани-

Задание принял к исполнению_____

(Подпись студена)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 65 с., 38 рисунков, 50 источников.

БИОМЕХАНИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

Разработана информационно-аналитическая система для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека.

Цель работы -написать программу для обработки, вычисления и анализа динамических и кинематических параметров движения человека.

Задачи включали анализ алгоритмов для вычисления кинематических и динамических параметров, интеграцию данных и создание визуализаций. Практическая значимость работы заключается в её применении для анализа и улучшения двигательной активности в медицине и спорте.

Новизна данной работы заключается в использовании простых моделей и доступных библиотек Python для анализа параметров движения.

Программа включает модель опорно-двигательного аппарата, работающую на языке Python, что делает её доступной и легко настраиваемой.

В результате был создан инструмент, который успешно анализирует данные о движениях и визуализирует результаты.

Результаты нашего исследования были представлены в трех публикациях, включая один тезис доклада на научной конференции и две статьи в научных журналах.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7
1 Общая характеристика предметной области и объекта исследования 8
1.1 Основные понятия и определения 8
1.2 Анатомическая описательная терминология 9
1.3 Терминология системы опорно-двигательного аппарата модели 11
1.4 Кинематика и динамика опорно-двигательного аппарата человека 12
1.5 Основы биомеханики человеческого движения 14
1.6 Биомеханические аспекты здорового и патологического движения 15
1.7 Сравнительный анализ профильного ПО 20
2 Предлагаемый алгоритм компьютеризированного решения задачи 28
2.1 Описание задачи 28
2.2 Анализ требований к решению 28
2.3 Фактический синтез эффективного алгоритма 29
2.4 Реализация алгоритма 31
3 Программная реализация предлагаемого алгоритма решения задачи 34
3.1 Планирование программного продукта 34
3.2 Проектирование программного продукта 37
3.3 Реализация программного продукта 40
3.4 Результаты фактического тестирования программного продукта 54
3.5 Оценка достоверности результатов 58
Заключение 59
Библиографические ссылки 60
Библиографический список 61

LLowerLimb – левая нижняя конечность;

RLowerLimb – правая нижняя конечность;

LUpperLimb – левая верхняя конечность;

RUpperLimb – правая верхняя конечность;

Head – голова;

TrunkPelvis – туловище и таз;

LTOE – левая стопа (палец);

LHEE – левая пятка;

LANK – левый голеностопный сустав;

LKNE – левый коленный сустав;

LASI – левая передняя верхняя подвздошная ость;

LPSI – левая задняя верхняя подвздошная ость;

RTOE – правая стопа (палец);

RHEE – правая пятка;

RANK – правый голеностопный сустав;

RKNE – правый коленный сустав;

RASI – правая передняя верхняя подвздошная ость;

RPSI – правая задняя верхняя подвздошная ость;

LSHO – левое плечо;

LELB – левый локоть;

LWRA – левая запястная кость (лучевая);

LFIN – левые пальцы;

LWRB – левая запястная кость (локтевая);

RSHO – правое плечо;

RELB – правый локоть;

RWRA – правая запястная кость (лучевая);

RFIN – правые пальцы;

RWRB – правая запястная кость (локтевая);

C7 – седьмой шейный позвонок;

LFHD – левая передняя часть головы;

RFHD – правая передняя часть головы;

LBHD – левая задняя часть головы;

RBHD – правая задняя часть головы;

STRN – грудина;

CLAV – ключица;

Точка – элемент модели, представляющий собой координаты определенного анатомического ориентира на теле. Примеры таких точек: LTOE (левая точка пальца ноги), LANK (левая точка лодыжки), LKNE (левая точка колена т.д.);

Линия – соединение двух точек, моделирующее кость или мышцу. Линии помогают визуализировать и анализировать движение и взаимодействие частей ОДАМ;

ОДА – опорно-двигательный аппарат.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность этой работы связана с созданием информационно-аналитической системы, которая поможет изучать, как двигается человеческое тело.

Цель исследования – решить проблему, связанную с трудностями в изучении движений человека, что важно для медицины и спорта.

Исследователи часто сталкиваются с проблемами, потому что правильно понять движения тела сложно и требует много знаний. Поэтому создание такой системы – важный шаг, чтобы лучше понять, как двигается человек и использовать эти знания на практике.

Для решения этой проблемы было решено сделать систему, которая покажет, как движется тело. Эта система поможет узнать, как двигается человек, и это важно для игр, спорта и медицины.

Таким образом, цель исследования – создать систему, которая поможет изучать движения человека. Задачи работы такие:

- изучить теорию кинематику и динамику опорно-двигательного аппарата;
- сделать математическую модель, чтобы описать движения тела;
- собрать и обработать данные, чтобы посчитать параметры движений;
- сделать удобный интерфейс для системы;
- провести тесты и проверить, как работает система;
- проанализировать результаты и сделать выводы, указав, почему это важно и как можно использовать методику в будущем.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ОБЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Основные понятия и определения

Информационно-аналитические системы (ИАС) используются для сбора знаний и предоставления данных, чтобы помогать принимать решения на основе подробного анализа информации.

ИАС могут быть полезны в таких случаях, как:

- поддержка и сопровождение принятия решений при эксплуатации сложных информационных систем;

- оценка правильности решений на разных этапах их выполнения.

Если разрабатывать ИАС для изучения движений человеческого тела, нужно учитывать такие особенности:

- сбор данных о движениях человека;

- создание алгоритма для анализа этих данных;

- оценка параметров движения, таких как траектории, скорости, ускорения, силы и моменты, действующие на части тела при выполнении различных задач;

- проверка точности данных;

- наличие удобного графического интерфейса;

Теперь рассмотрим несколько понятий. Кинематика – это раздел механики, который занимается описанием движения тел без учета причин этого движения, таких как масса или силы. Основные понятия кинематики – это пространство и время. Например, если тело движется по окружности, кинематика поможет понять, что нужно центростремительное ускорение, но не объяснит, почему оно возникает [1].

Динамика – это раздел механики, который изучает причины изменения движения тел, в то время как кинематика описывает само движение.

Опорно-двигательный аппарат – система органов и тканей, обеспечивающая поддержку и движение организма.

Биомеханика – наука, изучающая механические принципы живых систем.

Траектория движения – путь, по которому перемещается точка тела или его центр масс в пространстве в течение времени.

Скорость движения – величина, определяющая изменение позиции тела в пространстве за единицу времени.

Информационно-аналитическая система (ИАС) – комплекс программных и аппаратных средств, предназначенный для сбора, обработки и анализа данных с целью получения информации для принятия решений.

Сенсорные устройства – технические средства для сбора данных о движении человека, такие как акселерометры, гироскопы, оптические системы и другие.

Алгоритмы анализа – компьютерные процедуры, разработанные для обработки данных и выявления закономерностей в движениях человека.

Верификация и валидация – процессы проверки соответствия разработанных методов и алгоритмов реальным данным и требованиям задачи.

Пользовательский интерфейс – средство взаимодействия пользователя с информационной системой, обеспечивающее удобство и эффективность работы с данными и результатами анализа.

Модернизация и развитие – процессы улучшения и дальнейшего развития информационно-аналитической системы с целью учета новых требований и возможностей [2].

1.2 Анатомическая описательная терминология

Для описания пространственного расположения органов в теле человека можно условно провести три плоскости: фронтальную, сагиттальную и горизонтальную. Количество этих плоскостей, за исключением срединной сагиттальной, может быть произвольным.

Фронтальные плоскости проходят вертикально, параллельно лбу, и делят тело на переднюю и заднюю части.

Сагиттальные плоскости проходят вертикально спереди назад и делят тело на правую и левую части.

Срединная плоскость проходит строго через середину тела и делит его на правую и левую половины.

Около срединные плоскости проходят параллельно срединной через другие точки тела.

Горизонтальные плоскости проходят перпендикулярно фронтальным и сагиттальным плоскостям, деля тело на верхнюю и нижнюю части.

Для описания положения и строения органов используются следующие термины:

- верхний (или краниальный для вертикального положения;
- нижний (или каудальный);
- передний (или вентральный);
- задний (или дорзальный);
- проксимальный;
- дистальный (удаленный от туловища);
- медиальный (ближе к середине);
- латеральный (боковой, дальше от середины);
- правый/левый;
- поверхностный/глубокий.

При изучении движений в суставах условно проводят оси, относительно которых выполняются движения:

- фронтальная ось проходит во фронтальной плоскости слева направо или справа налево; вокруг нее совершаются сгибание и разгибание;
- сагиттальная ось проходит в сагиттальной плоскости спереди назад; вокруг нее совершаются отведение и приведение;
- вертикальная ось проходит через тело сверху вниз; вокруг нее совершается вращение: внутрь и наружу.

1.3 Терминология системы опорно-двигательного аппарата модели

Для описания модели опорно-двигательного аппарата, построенной из

точек и линий, используется следующая терминология:

- опорно-двигательный аппарат модели (ОДАМ) – это упрощенное представление человеческого скелета, состоящее из точек и линий. В такой модели точки обозначают ключевые анатомические ориентиры (суставы, концы костей), а линии -соединения между этими точками, моделирующие кости и мышцы;

- траектория движения – путь, по которому перемещается точка тела или его центр масс в пространстве в течение времени;

- скорость движения – величина, определяющая изменение позиции точки в пространстве за единицу времени;

- фронтальная плоскость – вертикальная плоскость, проходящая параллельно лбу, делящая тело модели на переднюю и заднюю части;

- сагиттальная плоскость – вертикальная плоскость, проходящая спереди назад, делящая тело модели на правую и левую части;

- срединная плоскость – проходит строго через середину тела модели и делит его на правую и левую половины;

- околосрединные плоскости – проходят параллельно срединной через другие точки тела модели;

- горизонтальная плоскость -плоскость, проходящая перпендикулярно фронтальным и сагиттальным плоскостям, делящая тело модели на верхнюю и нижнюю части;

- верхний (краниальный) – ближе к верхней части модели;

- нижний (каудальный) – ближе к нижней части модели;

- передний (вентральный) – ближе к передней части модели;

- задний (дорзальный) – ближе к задней части модели;

- проксимальный – ближе к центру тела модели;

- дистальный – дальше от центра тела модели;

- медиальный – ближе к срединной линии модели;

- латеральный – дальше от срединной линии модели;

- правый/левый – указывают на стороны тела модели;

- поверхностный – ближе к поверхности модели;

- глубокий – дальше от поверхности модели;

- фронтальная ось – ось, проходящая во фронтальной плоскости, вокруг которой совершаются сгибание и разгибание в модели;

- сагиттальная ось – ось, проходящая в сагиттальной плоскости, вокруг которой совершаются отведение и приведение;

- вертикальная ось – ось, проходящая через тело модели сверху вниз, вокруг которой совершается вращение: внутрь и наружу.

Эти термины и определения являются основой для описания и анализа движений в модели опорно-двигательного аппарата, что позволяет точно моделировать, визуализировать и анализировать кинематические и динамические характеристики движений.

1.4 Кинематика и динамика опорно-двигательного аппарата

Кинематика и динамика являются двумя основными разделами механики, которые помогают понять движение и силы, действующие на опорно-двигательный аппарат (ОДА) модели, состоящей из точек и линий.

В контексте модели ОДА, кинематика включает описание положений, скоростей и ускорений различных точек (суставов) и линий (конечностей) модели.

Основные параметры кинематики:

- положение – координаты точек в пространстве, определяющие их местоположение в определенный момент времени. Например, положение точки LTOE может быть задано координатами (x, y, z);

- скорость – скорость изменения положения точки с течением времени. Она может быть рассчитана как первая производная координат точки по времени;

- ускорение – скорость изменения скорости точки. Рассчитывается как вторая производная координат по времени.

Динамика опорно-двигательного аппарата. Динамика – это раздел механики, изучающий причины движения, такие как силы и моменты, действующие на тело. В модели ОДА динамика помогает понять, какие силы и моменты приводят к движению точек и линий.

Основные параметры динамики:

- сила – воздействие, вызывающее изменение движения. В модели ОДА могут быть внешние силы (например, гравитация) и внутренние силы (напряжение в мышцах). Для расчета сил можно использовать второй закон Ньютона;

- момент силы – мера вращательного воздействия силы на тело, рассчитывается как векторное произведение радиус-вектора на силу:

$$\tau = r * F, \quad (1)$$

где r – радиус;

F – вектор силы.

Применение в модели. Для модели ОДА, представленной в виде точек и линий, можно использовать следующие формулы для анализа кинематики и динамики.

Определение траектории движения:

$$x(t) = x_0 + v_0 * t + \frac{1}{2} a * t^2, \quad (2)$$

где x_0 – начальное положение;

v_0 – начальная скорость;

t – время;

a – ускорение.

1.5 Основы биомеханики человеческого движения

Основы биомеханики человеческого движения касаются изучения механических принципов, которые лежат в основе движений человеческого организма. Это направление науки объединяет знания из различных областей, таких как биология, физиология и механика, чтобы понять, как работает человеческое тело и как можно улучшить его двигательные навыки. Мы представим аспекты основ биомеханики человеческого движения на рисунке 1.

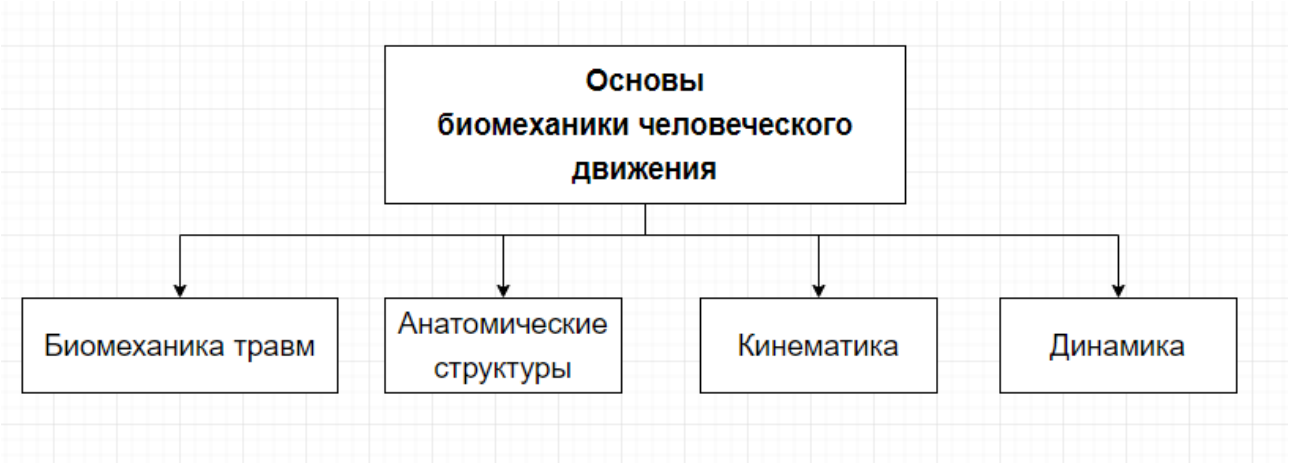

Рисунок 1 – Основы биомеханики человеческого движения

Основные аспекты биомеханики человеческого движения включают в себя:

- анатомические структуры. Изучение строения и функций различных частей тела, таких как кости, суставы, мышцы и связки, и их взаимодействие в процессе движения. Среди анатомических структур выделяются: кости, суставы, мышцы, связки, синовиальные мешки и суставные жидкости;

- кинематика. Анализ геометрических и временных характеристик движения, таких как положение, скорость, ускорение и траектория;

- динамика. Изучение причин и последствий движения, включая силы, моменты и энергию, действующие на тело во время движения.

Причины движения включают:

- внешние силы: толчок или тяга;

- сила притяжения.

Последствия движения включают:

- изменение положения: тело перемещается из одной точки в другую в пространстве;

- ускорение и замедление: объект может изменять свою скорость, двигаясь быстрее или медленнее;

- изменение направления: объект может менять свое направление движения в ответ на внешние силы или изменение окружающей среды.

Возможные силы, воздействующие на тело во время движения:

- сила мышц: мышцы создают силу, необходимую для движения;

- сопротивление среды: воздушное сопротивление или трение могут замедлять движение объекта;

- гравитационная сила: земное притяжение действует на тело и определяет его вертикальное движение;

- сопротивление поверхности: трение между телом и поверхностью, по которой оно движется, может замедлять или останавливать движение;

- силы реакции: реакционные силы, которые возникают при контакте объекта с другими объектами или поверхностью, могут воздействовать на движущееся тело;

- биомеханика травм: Анализ травматических ситуаций и механизмов травмирования, а также разработка методов для предотвращения повреждений.

Рассмотрим несколько возможных видов травм:

- падения;

- перенапряжения мышц и связок;

- повреждения при выполнении тяжелых физических работ.

1.6 Биомеханические аспекты здорового и патологического движения

Здоровое движение характеризуется правильной координацией мышц и суставов, что обеспечивает плавность и эффективность движений. Рассмотрим основные суставы и их кинематические и динамические характеристики.

Суставы:

- голеностопный сустав (LANK, RANK): обеспечивает движение стопы относительно голени;

- коленный сустав (LKNE, RKNE): обеспечивает сгибание и разгибание ноги в колене;

- тазобедренный сустав (LASI, RASI): соединяет ногу с туловищем, обеспечивает разнообразные движения бедра;

- плечевой сустав (LSHO, RSHO): обеспечивает движение руки относительно плеча;

- локтевой сустав (LELB, RELB): обеспечивает сгибание и разгибание руки в локте;

- запястный сустав (LWRA, RWRA, LWRB, RWRB): обеспечивает движение кисти;

- позвоночник (C7, LFHD, RFHD, LBHD, RBHD): отвечает за гибкость и подвижность туловища.

Для анализа здорового движения необходимо рассмотреть следующие аспекты:

- траектория движения. Траектория движения суставов может быть описана координатами x(t), y(t) и z(t) в функции времени t.

- скорость и ускорение: Скорость v и ускорение a коленного сустава можно найти как первую и вторую производные координат по времени;

- силы и моменты. В здоровом движении силы F и моменты τ распределены таким образом, что суставы и мышцы не перегружаются. Сила, действующая на сустав, рассчитывается по второму закону Ньютона:

$$F = m * a, \quad (3)$$

где m – масса сегмента тела;

a – ускорение.

Патологическое движение. Патологическое движение возникает при нарушении нормальной биомеханики, что может быть вызвано травмами, заболеваниями или врожденными дефектами. Основные характеристики патологического движения:

- неправильная траектория: Траектория движений изменяется, что можно заметить по координатам сустава. Так, при патологии может наблюдаться смещение траектории коленного сустава;

- изменение скоростей и ускорений: в патологическом движении скорость и ускорение могут быть неравномерными, что приводит к дополнительным нагрузкам на суставы и мышцы;

- избыточные силы и моменты. В патологическом движении силы и моменты могут быть чрезмерными, что вызывает боль и дискомфорт.

Анализ траектории. Для здорового коленного сустава (LKNE) траектория при ходьбе.

Расчет сил для здорового движения:

$$F_{normal} = m * a, \quad (4)$$

где m = 10 кг;

a = $2м/с^2$.

$F_{normal} = 10 * 2 = 20Н$

Расчет сил для патологического движения:

$$F_{path} = m * a, \quad (5)$$

где m = 10 кг;

a = $3м/с^2$:

$F_{path} = 10 * 3 = 30Н$

Диаграммы помогают визуализировать различия между здоровым и патологическим движением. Давайте рассмотрим некоторые из них, которые помогут нам в визуализации и представлении физических явлений:

- диаграмма траектории. Эта диаграмма показывает траекторию движения сустава в пространстве (рисунок 2);

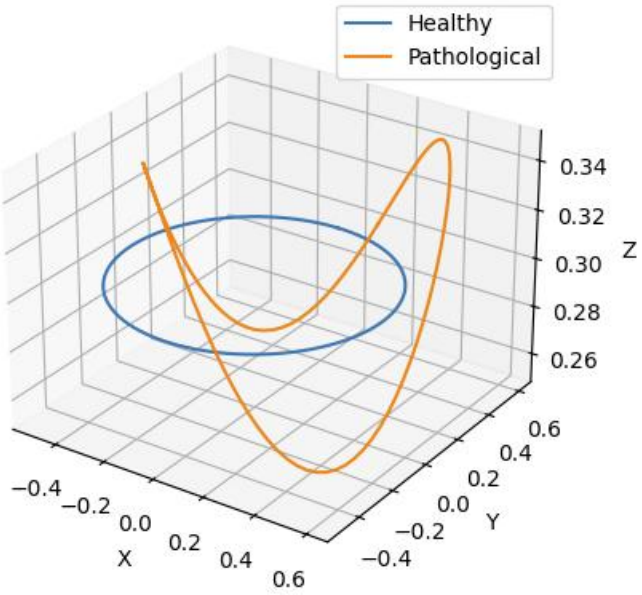

Рисунок 2 – Окно диаграммы траектории

- диаграмма скорости. Эта диаграмма показывает изменение скорости сустава во времени (рисунок 3);

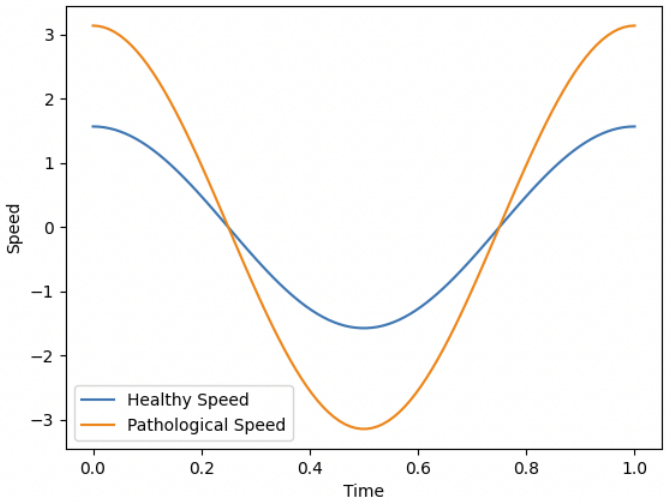

Рисунок 3 – Окно диаграммы скорости

- диаграмма силы. Эта диаграмма показывает изменение силы, действующей на сустав (рисунок 4).

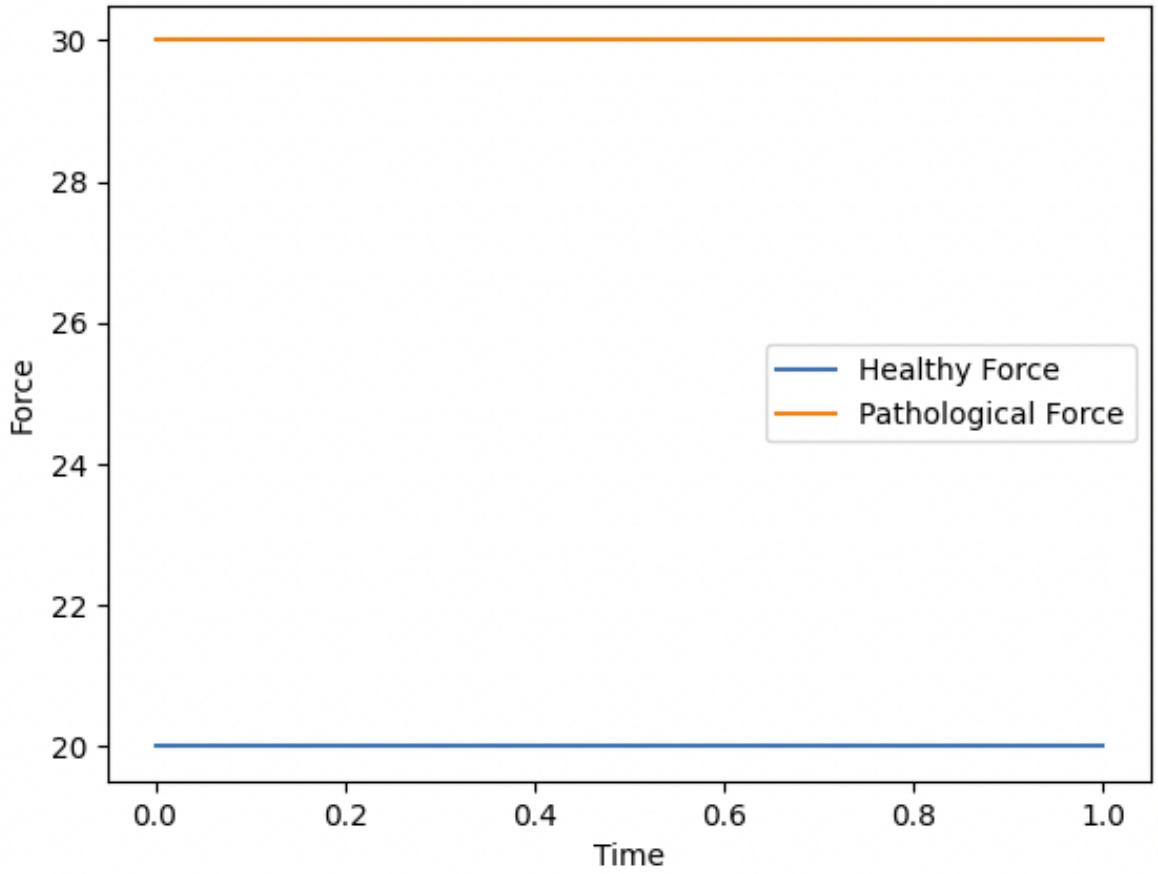

Рисунок 4 – Окно диаграммы силы

1.7 Сравнительный анализ профильного ПО

Анализ программного обеспечения для изучения кинематики и динамики движений человека помогает понять, какие из них лучше всего подходят для конкретных задач. Давайте рассмотрим основные критерии для сравнения таких программ:

- функциональность. Каждая программа предлагает свой набор функций для анализа движений человека. Некоторые из них предоставляют больше инструментов для обработки данных и создания визуализаций. Например, одна программа может позволять детально анализировать траектории движений, в то время как другая предоставляет обширные возможности для анализа сил и моментов;

- удобство использования. Очень важно, чтобы интерфейс программы был понятным и удобным. Программы с интуитивно понятным интерфейсом и простыми инструментами для работы с данными позволяют пользователям быстрее освоить их и работать эффективнее. Например, программы с удобной навигацией и доступными руководствами могут значительно облегчить процесс анализа;

- точность и надежность. Качество анализа движений зависит от точности алгоритмов, которые используются в программе. Программы, которые лучше справляются с шумами в данных и дают точные результаты даже в сложных условиях, считаются более надежными. Например, точность анализа может быть проверена путем сравнения результатов с эталонными данными или экспериментальными измерениями;

- поддержка и обновления. Наличие поддержки со стороны разработчиков и регулярные обновления программы являются важными аспектами. Это позволяет пользователям решать возникающие проблемы и использовать новейшие возможности программы. Программы с активной поддержкой и частыми обновлениями обеспечивают пользователям более надежный и актуальный инструмент для работы;

- стоимость. Цена программы также играет значительную роль. Некоторые программы могут быть дорогими, требовать покупки лицензии или подписки на обновления. Другие могут быть бесплатными или иметь более доступные цены. Например, бесплатные программы могут подойти для студентов или небольших лабораторий, в то время как платные решения могут предлагать более продвинутые функции для профессиональных пользователей.

Сравнение программного обеспечения для анализа движений человека по таким критериям, как функциональность, удобство использования, точность и надежность, поддержка и обновления, а также стоимость, помогает выбрать наиболее подходящий инструмент для конкретного исследования. Такой анализ позволяет найти оптимальное соотношение цены и качества, что

особенно важно при ограниченном бюджете и высоких требованиях к точности и надежности анализа.

1.7.1 Обзор основных функциональных возможностей программных продуктов

Существует несколько профильных программных продуктов, специализированных на анализе кинематики и динамики движений человека. Рассмотрим основные функциональные возможности таких программ:

- Vicon Nexus: это программное обеспечение для анализа движений, которое использует оптическую систему маркерного движения для записи и анализа движений человека. Основные функции включают в себя сегментацию движений, вычисление кинематических и динамических параметров, визуализацию данных и создание отчетов (рисунок 5);

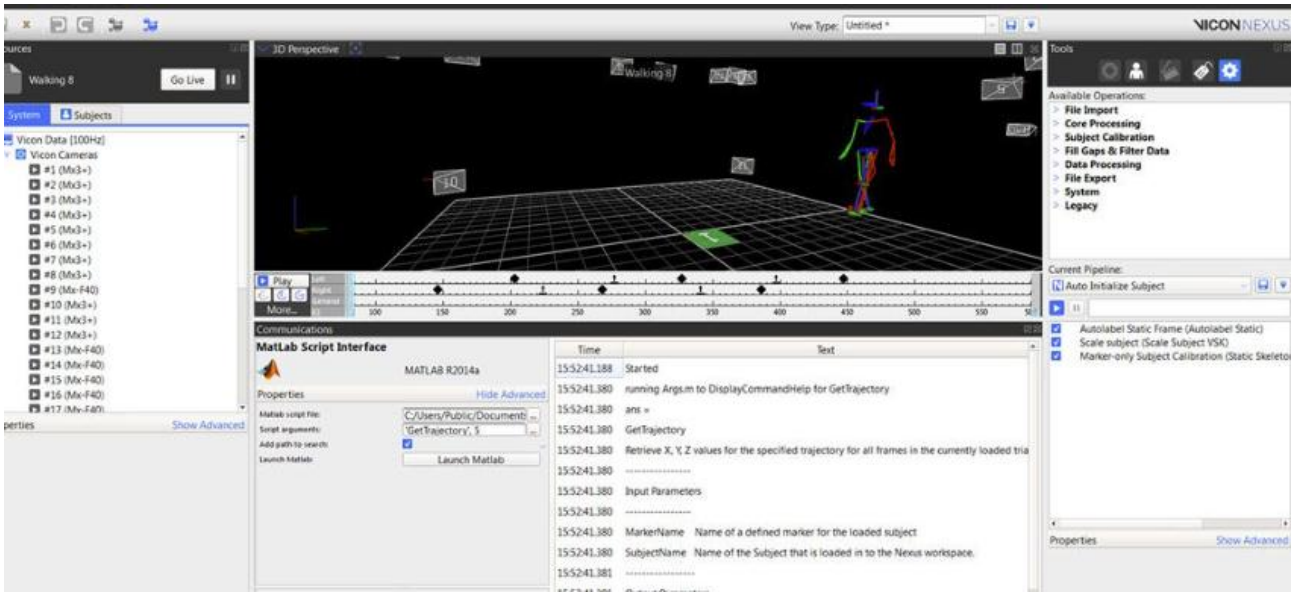

Рисунок 5 – Окно программы Vicon Nexus

- Motion Analysis Cortex: эта система также основана на оптической системе маркерного движения и предназначена для анализа движений человека. Она обладает широким спектром функций, включая запись данных, калибровку системы, обработку и анализ движений, а также визуализацию результатов (рисунок 6);

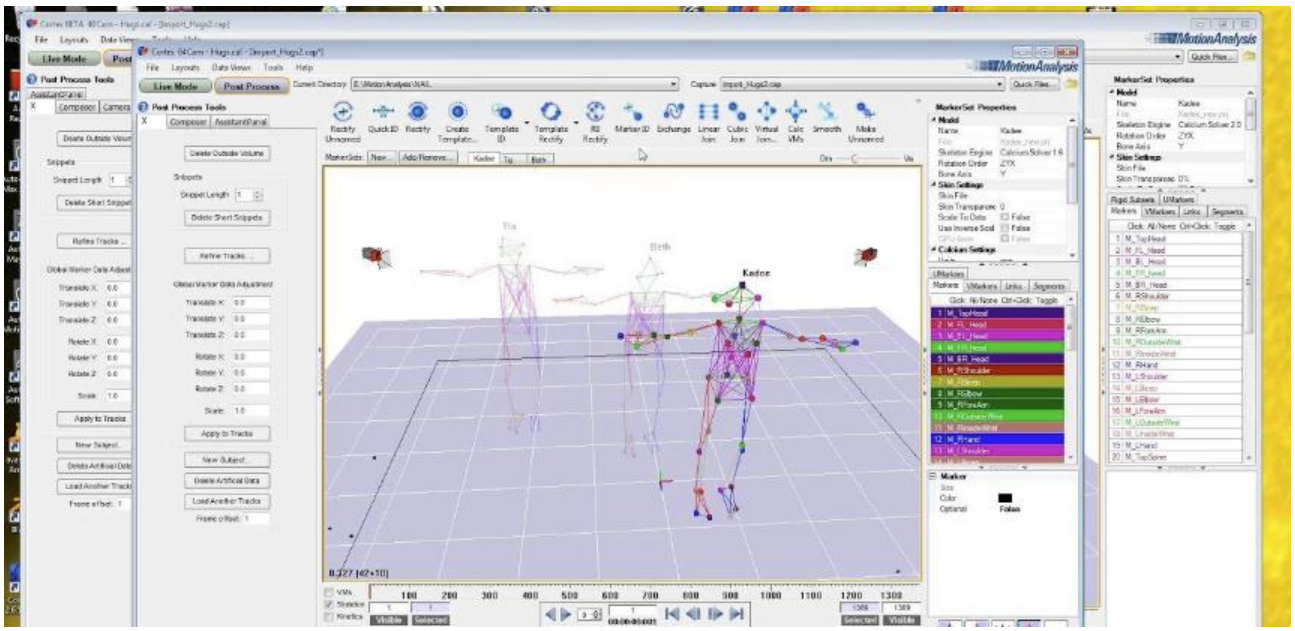

Рисунок 6 – Окно программы Motion Analysis Cortex

- Biomech Toolbox: это программное обеспечение для MATLAB, предназначенное для анализа биомеханических данных. Оно содержит набор инструментов для обработки кинематических и динамических данных, включая методы дифференцирования, фильтрации и анализа (рисунок 7);

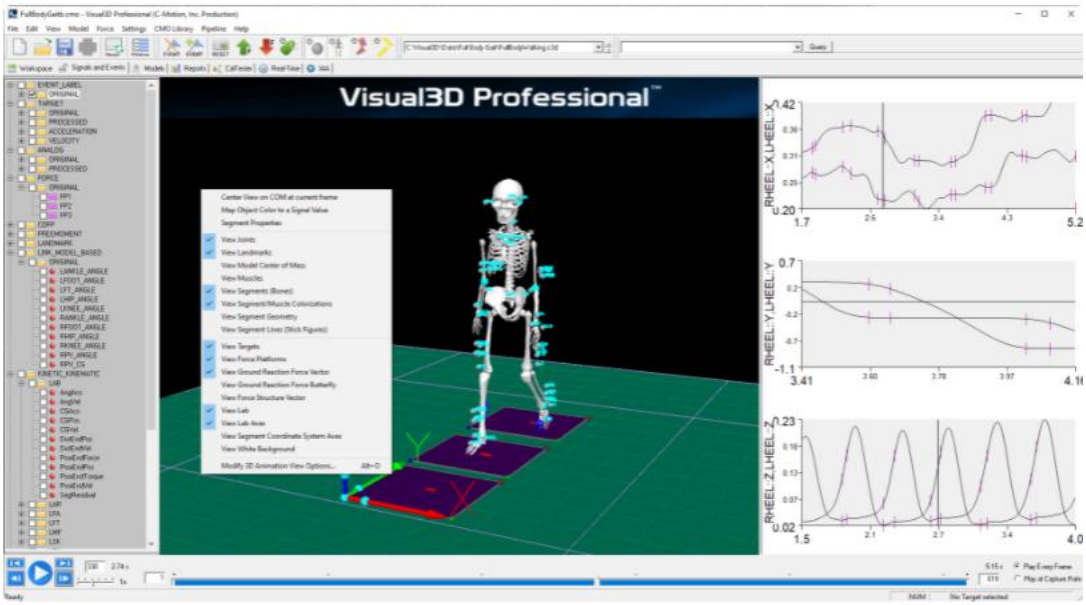

Рисунок 7 – Окно программы Biomech Toolbox

- OpenSim: это программное обеспечение с открытым исходным кодом для моделирования и симуляции биомеханических систем. Оно позволяет со-

здавать модели человеческого тела, анализировать их движения и взаимодействие с окружающей средой, а также предсказывать поведение системы при различных условиях (рисунок 8).;

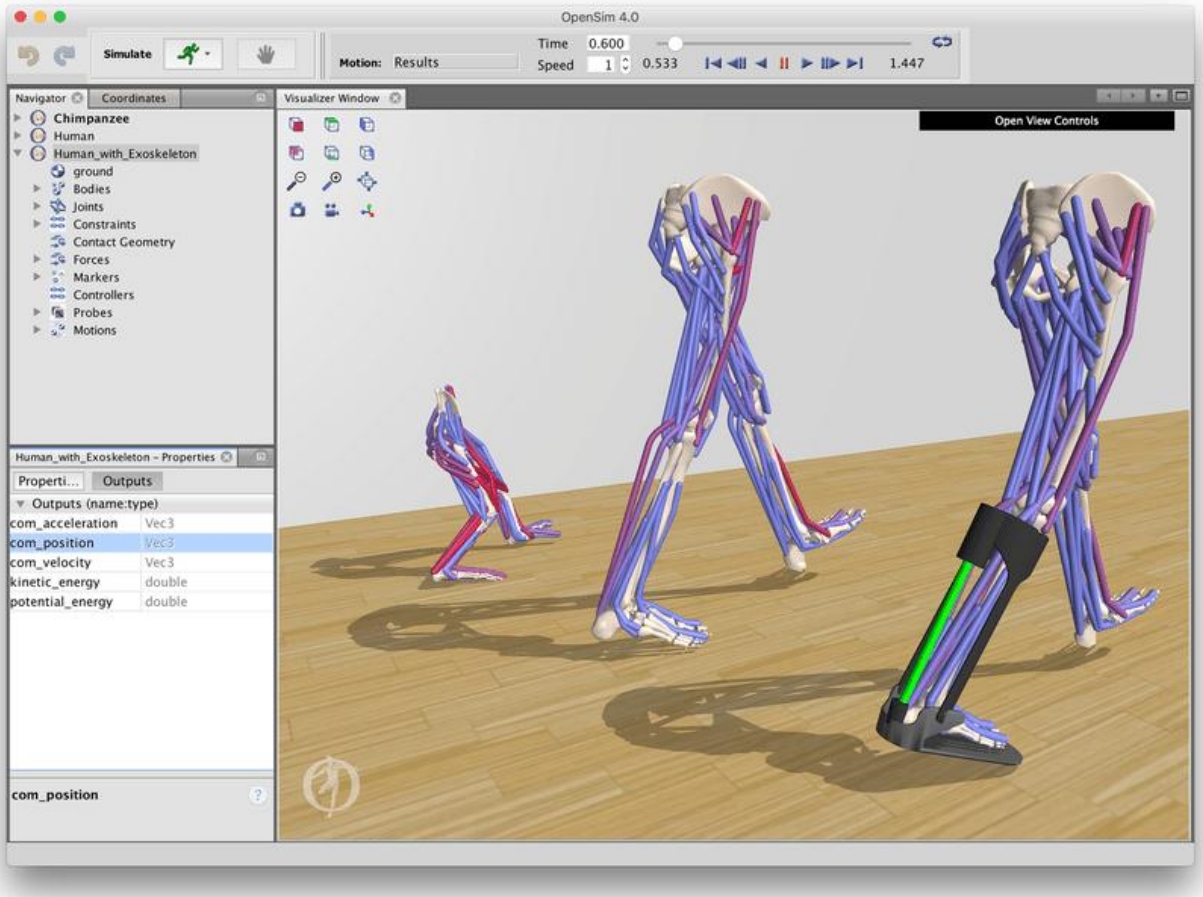

Рисунок 8 – Окно программы OpenSim

- AnyBody Modeling System: это интегрированная среда для моделирования и анализа биомеханических систем. Она позволяет создавать детальные многотелесные модели человеческого тела, анализировать их движения и взаимодействие с окружающей средой, а также проводить оптимизацию и оценку производительности (рисунок 9).

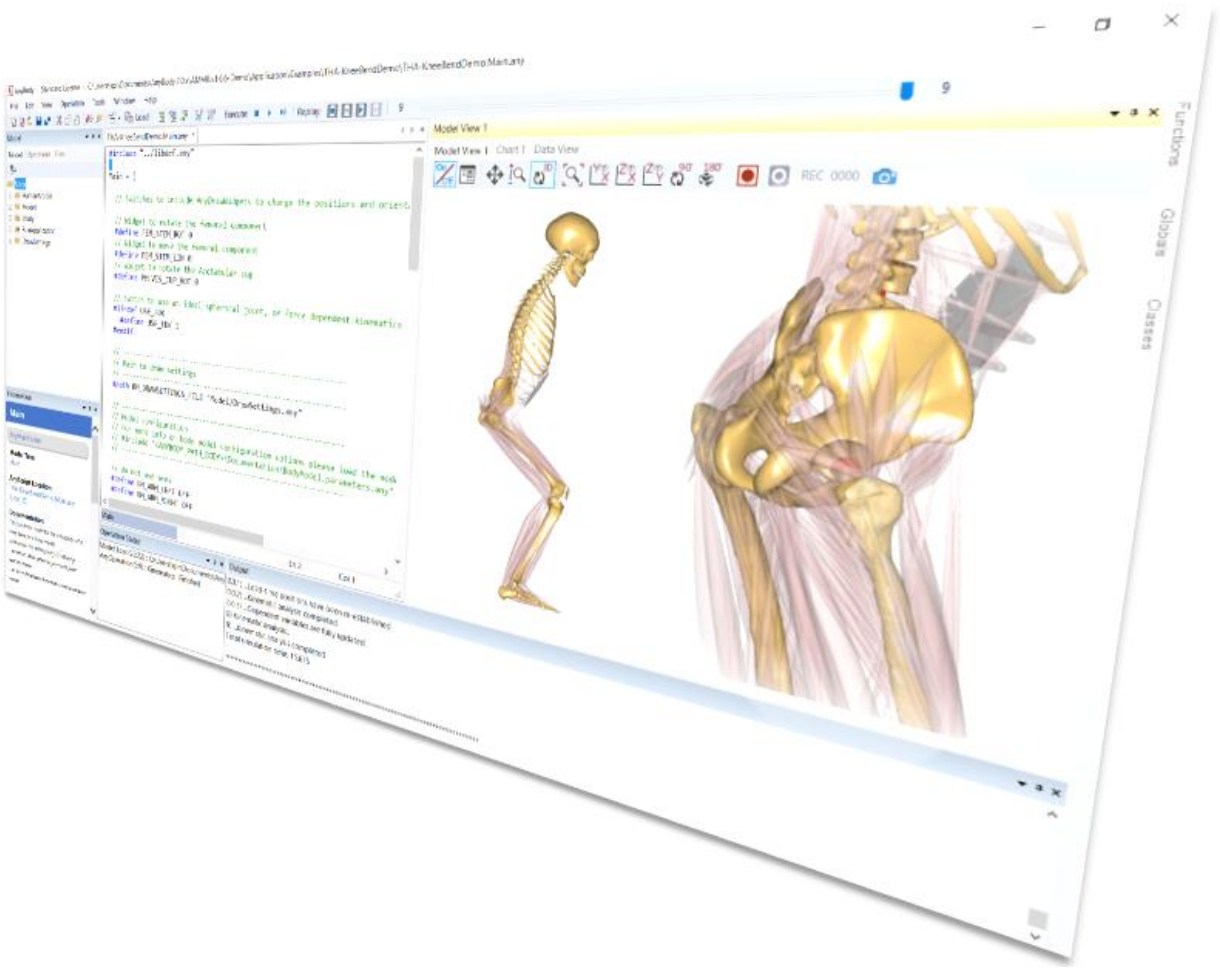

Рисунок 9 – Окно программы AnyBody Modeling System

Каждый из этих программных продуктов имеет свои особенности и преимущества, поэтому выбор конкретного продукта зависит от конкретных потребностей и целей исследования.

1.7.2 Преимущества и недостатки каждого из рассмотренных вариантов

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из рассмотренных вариантов программного обеспечения для анализа кинематики и динамики движений человека.

Vicon Nexus.Преимущества Vicon Nexus:

- широкий набор функций для анализа движений;
- интуитивно понятный пользовательский интерфейс;
- возможность работы с большим объемом данных.

Недостатки Vicon Nexus:

- высокая стоимость лицензии и оборудования;

- ограничения в возможностях настройки и расширения.

Motion Analysis Cortex. Преимущества Motion Analysis Cortex:

- высокая точность и надежность анализа движений;

- широкий функционал обработки и визуализации данных;

- гибкие настройки и возможность интеграции с другими программами.

Недостатки Motion Analysis Cortex:

- требует высококачественного оборудования для записи данных;

- сложный интерфейс, требующий времени для освоения.

Biomech Toolbox. Преимущества Biomech Toolbox:

- бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом;

- большой выбор инструментов для обработки и анализа данных;

- бнтеграция с существующими инструментами MATLAB.

Недостатки Biomech Toolbox:

- требует знания языка программирования MATLAB для эффективного использования;

- меньшая поддержка и документация по сравнению с коммерческими продуктами.

OpenSim. Преимущества OpenSim:

- мощный инструмент для создания и анализа многотелесных моделей человеческого тела;

- бесплатное и с открытым исходным кодом;

- активное сообщество пользователей и разработчиков.

Недостатки OpenSim:

- требует глубоких знаний в области биомеханики и моделирования;

- сложность использования для непрофессионалов без подготовки.

AnyBody Modeling System. Преимущества AnyBody Modeling System:

- интегрированная среда для моделирования и анализа биомеханических систем;

- высокая гибкость и расширяемость;

- продвинутые возможности оптимизации и анализа производительности.

Недостатки AnyBody Modeling System:

- высокая стоимость лицензии и оборудования;

- требует специализированных знаний и опыта для эффективного использования.

2 ПРЕДЛАГАЕМЫЙ АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Описание задачи

Наша задача состоит в разработке информационно–аналитической системы для анализа кинематики и динамики опорно–двигательного аппарата человека. Данная система будет предназначена для изучения движений человека с целью оценки его кинематики, а также исследования распределения нагрузки.

2.2 Анализ требований к решению

Анализ требований к информационной системе для анализа кинематики и динамики движений человека

Разработка информационной системы (ИС) для анализа кинематики и динамики движений человека требует тщательного анализа требований, чтобы обеспечить функциональность, удобство использования, точность и надежность системы. Рассмотрим основные аспекты, которые необходимо учитывать при формировании требований к данной системе.

Сбор данных:

- обработка и анализ данных;

- реализация алгоритмов с использованием кинематических параметров (положение, скорость, ускорение);

- реализация алгоритмов с использованием динамических параметров (силы, моменты).

Визуализация данных:

- возможность создания визуализаций кинематики движений;

- отображение графиков кинематических и динамических параметров;

- интерактивные инструменты для анализа результатов;

- интуитивно понятный и удобный интерфейс;

- хранение и экспорт данных;

- сохранение результатов анализа (JSON).

Нефункциональные требования:

- быстрая обработка больших объемов данных;

- оптимизация алгоритмов для минимизации времени расчета;

- надежность;

- регулярные обновления и исправления ошибок;

- технические требования.

Язык программирования и технологии:

- использование Python и соответствующих библиотек для анализа данных (NumPy, SciPy, Conda, Matplotlib);

- возможность расширения функциональности с помощью дополнительных модулей и библиотек.

Архитектура системы:

- модульная структура, позволяющая легко обновлять и расширять функциональность;

- использование современных подходов к разработке программного обеспечения и методов объектно-ориентированного программирования.

Требования к тестированию и валидации:

- проведение модульного и интеграционного тестирования для проверки корректности работы системы;

- тестирование на реальных данных для оценки точности и надежности.

Валидация:

- сравнение результатов анализа с эталонными данными.

2.3 Фактический синтез эффективного алгоритма

Для работы с программой, которая анализирует кинематику и динамику движений человека, мы вводим данные как в текстовом файле, так и вручную в форме для заполнения. Эти данные включают координаты точек и связи между ними, которые моделируют опорно-двигательный аппарат. Пример содержимого текстового файла для ввода данных приведен ниже.

Файл содержит разделы, каждый из которых соответствует определенной части тела (нижняя конечность, верхняя конечность, голова, туловище.

В каждом разделе задаются цвет и связи между ключевыми точками.

Для каждой точки модели задаются координаты в трехмерном пространстве (x, y, z). Эти координаты используются для расчета кинематических параметров (положение, скорость, ускорение и динамических параметров (силы, моменты). Ниже приведены примеры формул, используемых для расчетов.

Если r(t)=(x(t), y(t), z(t)) – вектор положения точки в момент времени t, то скорость v(t) определяется как производная от положения по времени.

Для визуализации данных используются графики, которые отображают изменения положения, скорости и ускорения точек модели во времени.

Диаграмма положения (рисунок 10):

- ось x: время;

- ось y: координаты (x, y, z).

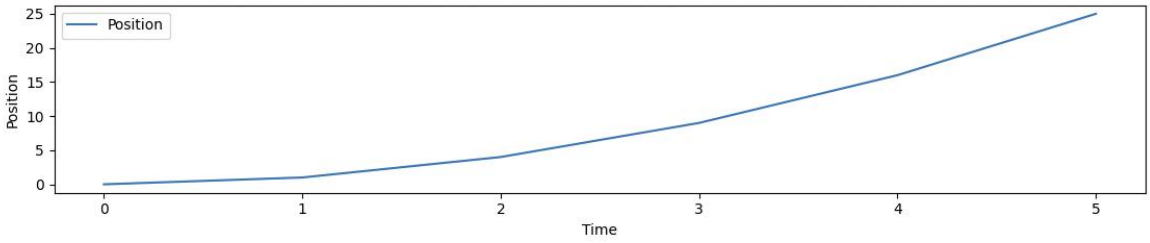

Рисунок 10 – Диаграмма положения

Диаграмма скорости (рисунок 11):

- Ось x: время;

- Ось y: скорость.

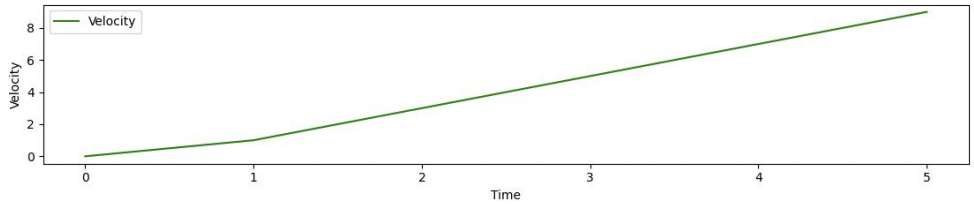

Рисунок 11 – Диаграмма скорости

Диаграмма ускорения (рисунок 12):

- Ось x: время;

- Ось y: ускорение.

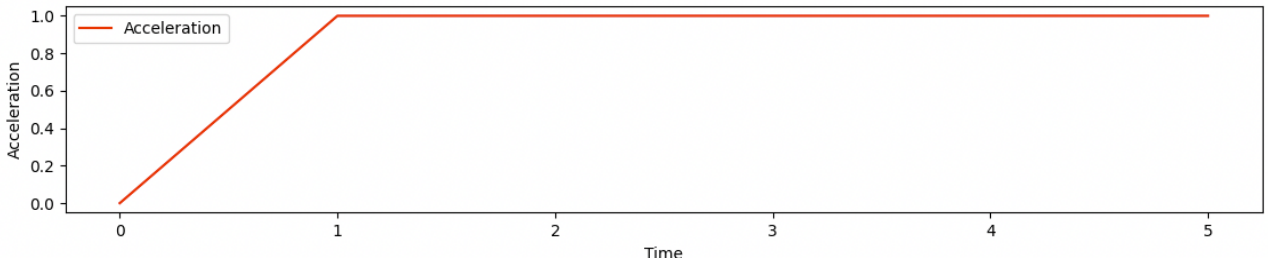

Рисунок 12 – Диаграмма ускорения

2.4 Реализация алгоритма

Реализация алгоритма компьютеризированного решения задачи анализа кинематики и динамики опорно–двигательного аппарата человека будет включать следующие этапы:

- выбор языка программирования и инструментов -необходимо выбрать подходящий язык программирования и инструменты разработки. Для этой задачи часто используются языки программирования Python или MATLAB, а также библиотеки для анализа данных, такие как NumPy, SciPy, Conda, Matplotlib и другие;

- анализ кинематических параметров -реализация алгоритма для определения кинематических параметров движений человека, таких как положение, скорость и ускорение, включает использование методов численного дифференцирования. В данном случае мы пишем код для считывания текстовых файлов с параметрами, так же добавим возможность использования параметров по умолчанию;

- анализ динамических параметров -для оценки динамических параметров движений, таких как силы и моменты, действующие на опорно–двигательный аппарат человека, может быть использован принцип динамики твердого тела. Реализация этого аспекта включает в себя применение второго закона Ньютона и методов моментов сил.

Также опишем дополнительные математические формулы для описания кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата.

Угловая скорость и угловое ускорение:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \quad (6)$$

где ω - угловая скорость;

α - угловое ускорение;

θ - угол поворота.

Далее нам необходимо воспользоваться формулой связи между угловым ускорением и моментом силы:

$$M = I * \alpha, \quad (7)$$

где M - момент силы;

I - момент инерции;

α - угловое ускорение.

Также рассмотрим формулы длины шага и частоты шага. Так длина шага Stride Length (SL) – это расстояние между последовательными точками ноги. Имеем формулу:

$$SL = \sqrt{(x * RTOE - x * LTOE)^2 + (y * RTOE - y * LTOE)^2}, \quad (8)$$

где x – координата оси X;

y – координата оси Y;

$RTOE$ – правая стопа;

$LTOE$ – левая стопа.

Далее рассмотрим формулу частоты шага Stride Frequency (SF). Частота шага – это количество шагов за определенный промежуток времени.

$SF = \frac{\text{Количество шагов } (CS)}{t}$. Также нам понадобится формула количества шагов Count Steps (CS). $CS = \sum_{i=1}^{N} \text{Шаг}(i)$. В данной формуле мы имеем следующие показатели: N - общее количество измерений положения сустава за период времени, Шаг(i) - функция, которая возвращает 1, если условие шага выполнено на i-м измерении, и 0 в противном случае.

Интеграция данных и результатов: полученные кинематические и динамические параметры объединяются и анализируются вместе для получения полной картины движения человека. Это включает в себя выявление взаимосвязей между кинематическими и динамическими характеристиками движений и оценку их влияния на состояние опорно-двигательного аппарата.

Так мы можем сравнивать с приблизительными параметрами:

- Скорость (м/с):

Ходьба: 1.0 - 1.5 м/с

Бег: 2.0 - 3.0 м/с

- Угловая скорость (рад/с):

Здоровое движение: < 5 рад/с

Патологическое движение: > 5 рад/с

- Ускорение (м/с^2):

Здоровое движение: 0 - 5 м/с^2

Патологическое движение: > 5 м/с^2

- Длина шага (м):

Ходьба: 0.6 - 0.8 м

Бег: 1.0 - 1.5 м

- Частота шагов (шагов/мин):

Ходьба: 100 - 120 шагов/мин

Бег: 150 - 180 шагов/мин

Тестирование и оптимизация: после реализации алгоритма необходимо провести его тестирование на реальных данных. В процессе тестирования выявляются возможные проблемы и несоответствия, которые требуют доработки алгоритма. Также может потребоваться оптимизация алгоритма для улучшения его производительности и точности.

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

3.1 Планирование программного продукта

В данном разделе представлены основные этапы планирования и проектирования программного продукта, предназначенного для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека.

Для реализации информационно-аналитической системы (ИАС) по исследованию кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека был выбран алгоритм, основанный на методах математического моделирования движений. Данный алгоритм предполагает анализ кинематических и динамических параметров, на основе собранных данных о движениях человека с использованием средств компьютерной графики.

Определение требований к функциональности и производительности.

Первым этапом разработки программного продукта было определение требований к его функциональности и производительности, а также требования к точности и скорости обработки данных. В результате были сформулированы основные задачи, которые должен решать программный продукт:

- обработка и анализ полученных данных с целью изучения кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата;

- визуализация результатов и предоставление пользователю инструментов для анализа полученных данных.

Требования к разработке:

- проектирование архитектуры и интерфейса программы. На основе выявленных требований была разработана архитектура программного продукта. Были определены основные компоненты системы, их взаимосвязи и функциональные возможности. Также был спроектирован пользовательский интерфейс, обеспечивающий удобство использования программы и доступ к основным функциям анализа;

- разработка плана тестирования.

Для обеспечения качества программного продукта был разработан план тестирования, включающий в себя различные виды тестов:

- модульное тестирование для проверки каждого компонента программы на корректность работы;

- интеграционное тестирование для проверки взаимодействия между компонентами;

- функциональное тестирование для проверки выполнения основных функций программы.

Также рассмотрим диаграммы необходимые для подробного описания программного решения. Начнем с диаграммы прецедентов. Диаграммы прецедентов являются важным инструментом анализа и проектирования программных систем. Они представляют собой графическое описание функциональности системы с точки зрения её пользователей. Рассмотрение диаграмм прецедентов позволяет более подробно описать взаимодействие пользователей с программным продуктом, выделить основные функциональные возможности системы и определить их взаимосвязь. На рисунке 13 представлена диаграмма необходимая для описания взаимодействия пользователя и программы.

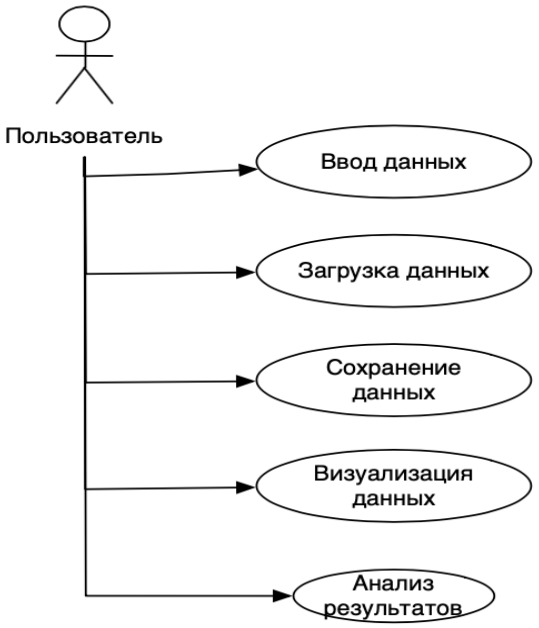

Рисунок 13 – Диаграмма прецедентов

Данная диаграмма изображает кто является действующим лицом и каким образом взаимодействует с информационной системой.

Далее перейдем к диаграмме последовательностей (рисунок 14). Данная диаграмма представляет из себя графическое представление последовательности взаимодействия различных объектов в системе в рамках определенного сценария использования. Для информационной системы, исследующей кинематику и динамику опорно-двигательного аппарата человека, можно разработать диаграмму последовательностей для иллюстрации взаимодействия пользователя с системой при выполнении конкретной операции.

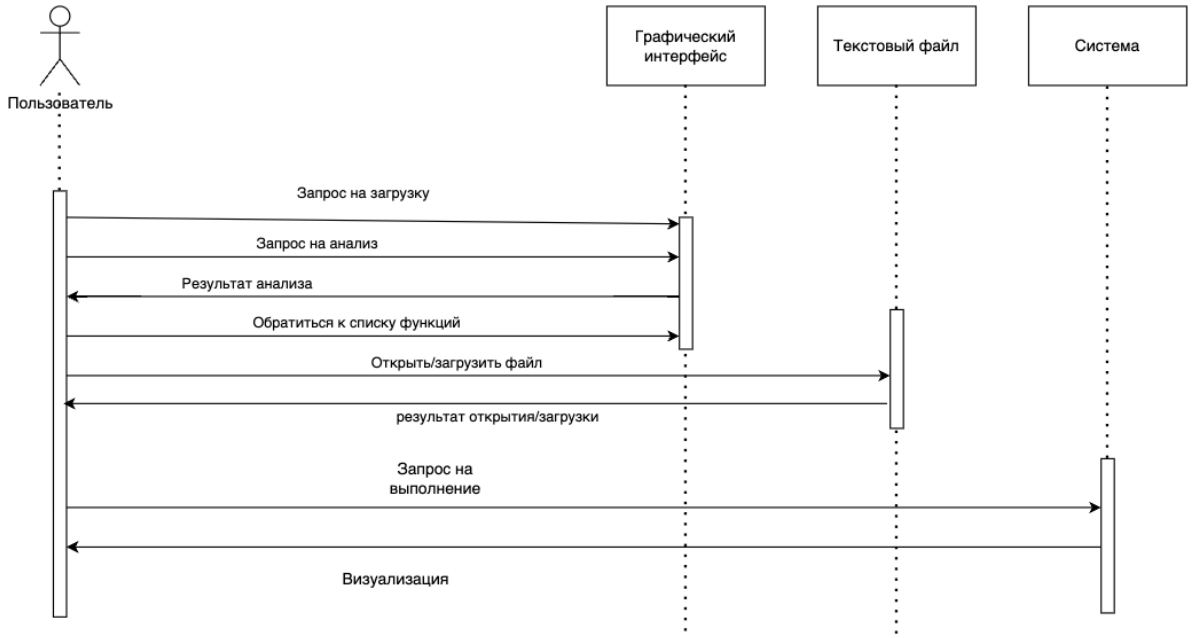

Рисунок 14 – Диаграмма последовательностей

А теперь давайте перейдем к диаграмме состояний (рисунок 15), которая позволит нам визуализировать различные состояния, через которые может проходить объект или система в процессе выполнения определенной задачи или взаимодействия с окружающей средой. Диаграмма состояний состоит из состояний, переходов между ними и событий, вызывающих эти переходы. В нашем случае объектом может быть, например, процесс анализа данных, которые вводит пользователь в информационную систему.

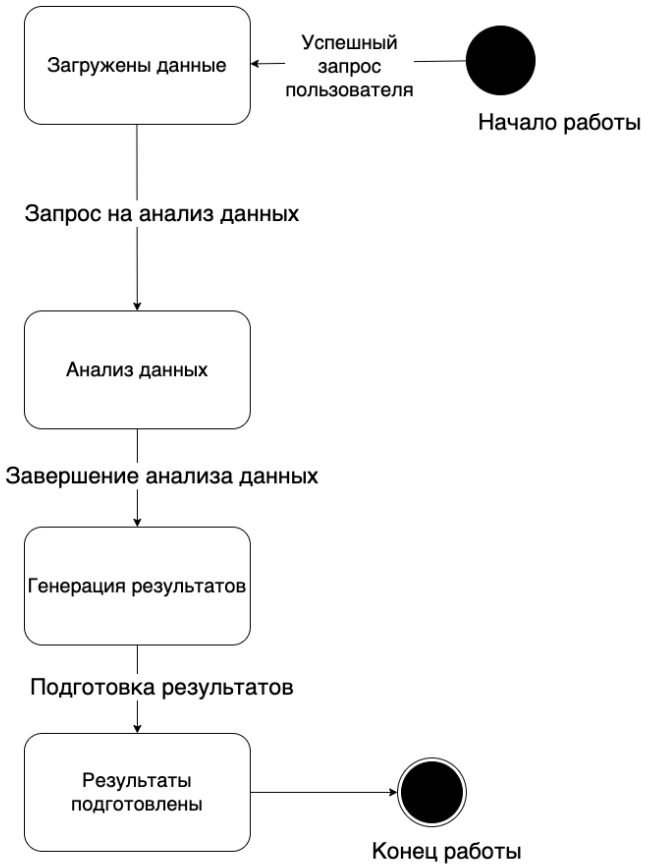

Рисунок 15 – Диаграмма состояний

3.2 Проектирование программного продукта

Перед тем как приступить к созданию информационно-аналитической системы, необходимо провести проектирование. Этот этап включает в себя определение требований к системе, разработку архитектуры, выбор технологий и инструментов для реализации, а также создание дизайна пользовательского интерфейса. Для этого построим диаграмму компонентов (рисунок 16).

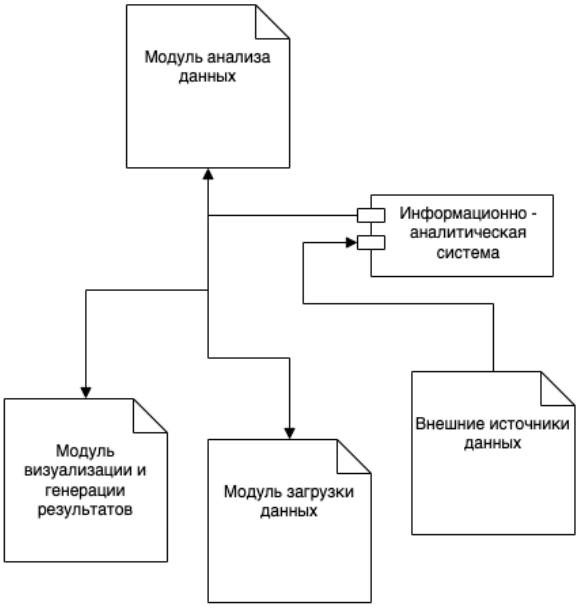

Рисунок 16 – Диаграмма компонентов

Давайте подробнее опишем каждый из модулей.

- модуль загрузки данных. Этот модуль отвечает за получение информации о движениях человека из внешних файлов. Управление подключением и обменом данными с внешними источниками. Преобразование полученных данных в формат, пригодный для дальнейшего анализа. Обработка ошибок и обеспечение надежности передачи данных;

- модуль анализа данных. Этот модуль отвечает за обработку и анализ данных о движениях человека, на основании данных ввод или загруженных данных, с целью выявления особенностей кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата. Вычисление параметров кинематики и динамики движений;

- модуль визуализации и генерации результатов. Этот модуль отвечает за создание отчетов или визуализаций на основе результатов анализа данных о движениях человека. Создание визуальных представлений, таких как анимации, демонстрирующие кинематические и динамические параметры движений.

Проектирование начинается с анализа требований к системе, включая функциональные и нефункциональные характеристики. Это позволяет определить основные возможности, которые должны быть реализованы, а также установить ограничения и критерии успеха для программного продукта. Этот раздел описывает процесс реализации программного продукта, начиная с написания кода и заканчивая интеграцией компонентов и созданием пользовательского интерфейса.

Написание и отладка кода. На этапе реализации разработчики начинают писать код, реализующий функциональность, определенную на предыдущих этапах. В процессе написания кода учитываются принятые архитектурные решения и спецификации, разработанные на этапе проектирования. После написания кода проводится его отладка с целью выявления и исправления возможных ошибок.

Интеграция компонентов. После написания и отладки отдельных компонентов программы они интегрируются в единое целое. Этот процесс включает в себя объединение различных модулей программы и проверку их взаимодействия. Важным аспектом интеграции является обеспечение совместимости между компонентами и корректной передачи данных между ними.

Создание пользовательского интерфейса. Пользовательский интерфейс играет важную роль в удобстве использования программного продукта. На этом этапе разрабатывается графический интерфейс, который позволяет пользователям взаимодействовать с программой. Это включает в себя разработку различных элементов управления, меню, диалоговых окон и других интерактивных элементов.

В результате успешной реализации программного продукта достигается его готовность к тестированию и дальнейшему использованию. Важно отметить, что процесс реализации может включать не только написание кода, но и различные инженерные задачи, такие как оптимизация производительности, обеспечение безопасности и совместимости с другими системами. Рассмотрим диаграмму разработки графического интерфейса (рисунок 17):

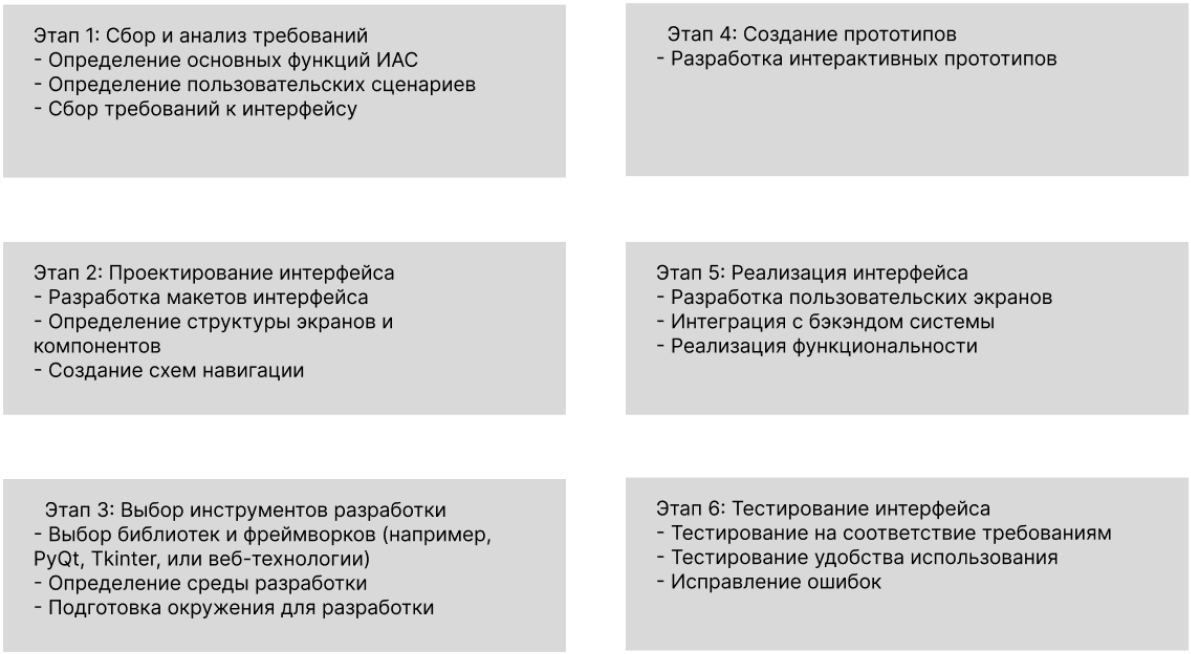

Рисунок 17 – Диаграмма разработки графического интерфейса

3.3 Реализация программного продукта

Информационно-аналитическая система разработана на базе языка программирования Python с использованием библиотеки NumPy для выполнения численных вычислений и обработки данных, Kinetics Toolkit для визуализации результатов. Система представляет собой модульную структуру, включающую следующие основные компоненты:

Модуль сбора данных: обеспечивает сбор информации о движениях человека с текстовых файлов.

Модуль обработки данных: осуществляет предварительную обработку и проверку собранных данных на наличие ошибок, выделение кинематических параметров и расчет динамических характеристик движений.

Модуль визуализации результатов: обеспечивает визуализацию полученных данных в виде анимации для наглядного анализа кинематики и динамики движений.

Для наглядного представления функционала и возможностей разработанной информационно-аналитической системы (ИАС) по исследованию кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека, мы представляем ниже снимки экранов основных модулей программы. Эти снимки демонстрируют интерфейс пользователя, доступные инструменты анализа и визуализации результатов, а также функции сбора и обработки данных (рисунок 18).

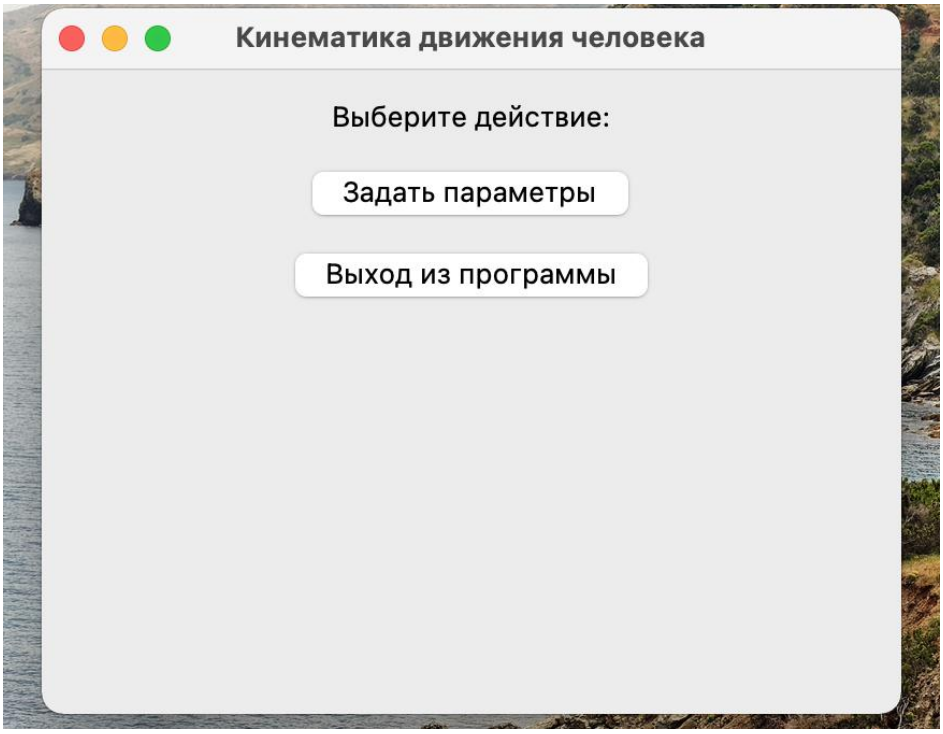

Рисунок 18 – Главное меню

Откроется окно проводника, где мы выберем файл с разрешением .txt

Далее нажмем кнопку задать параметры. На рисунке 19 и рисунке 20 мы видим следующее окно программы.

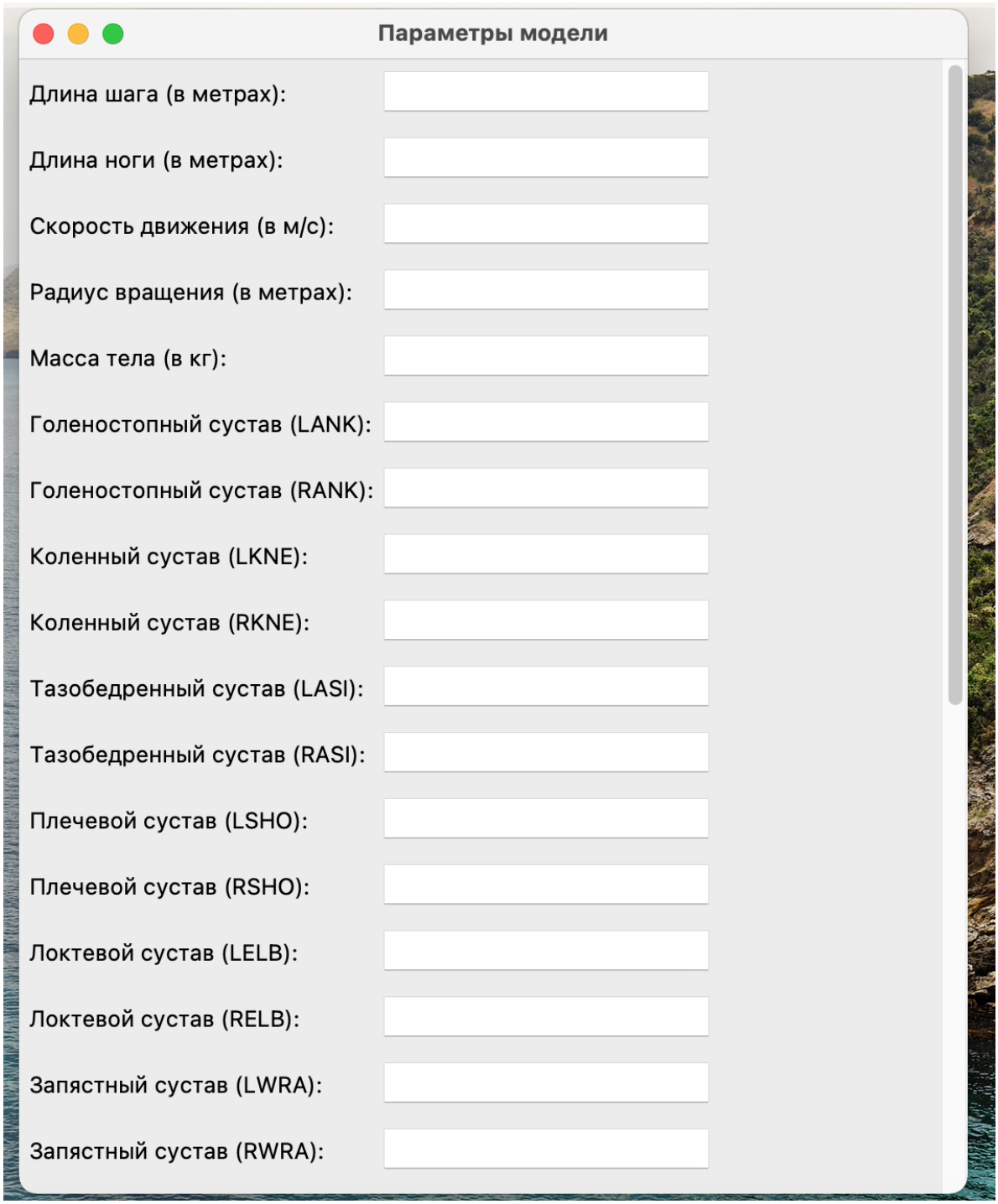

Рисунок 19 – Окно параметры модели

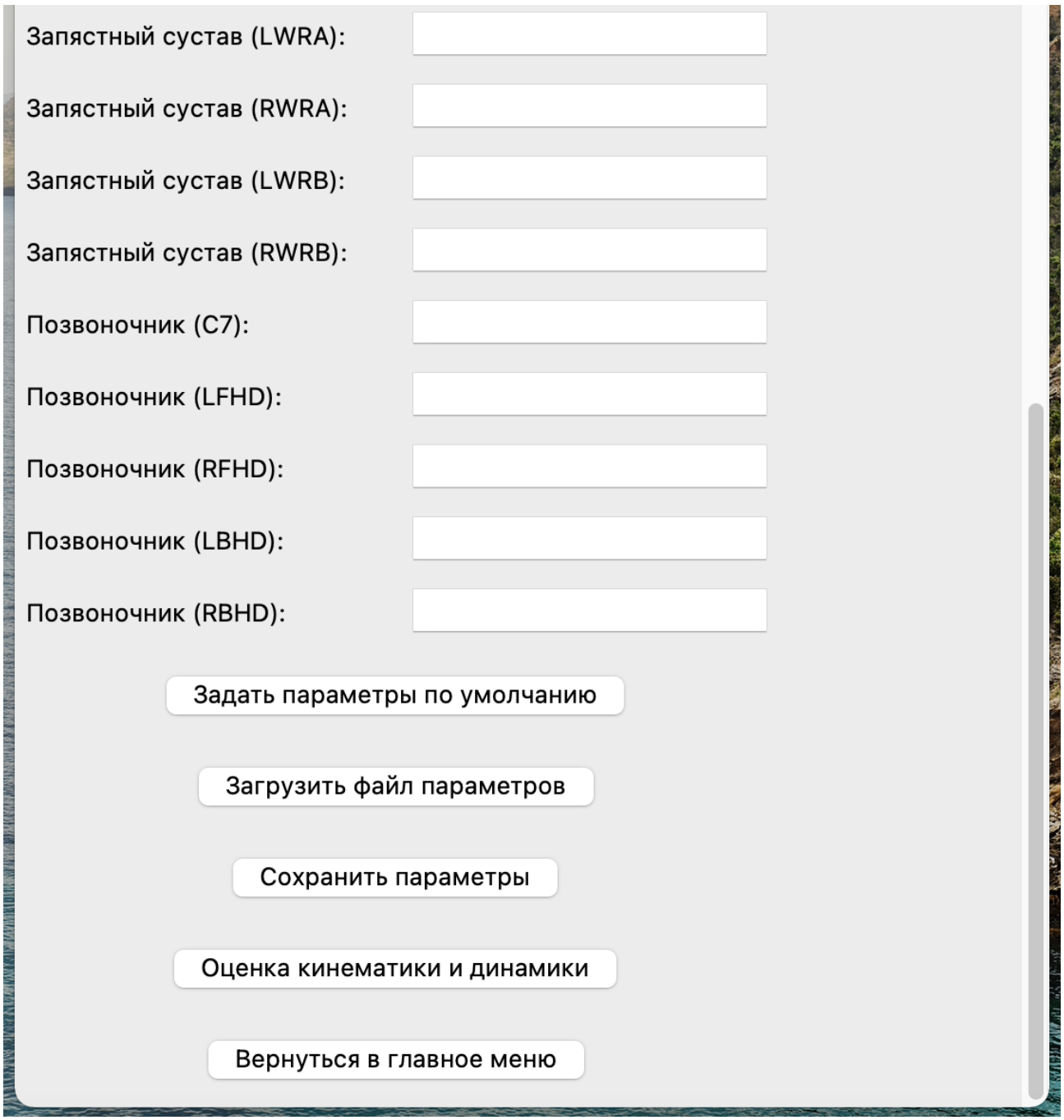

Рисунок 20 – Окно параметры модели

На рисунках выше мы видим поля параметров и ниже расположены кнопки, давайте зададим параметры по умолчанию (рисунок 21).

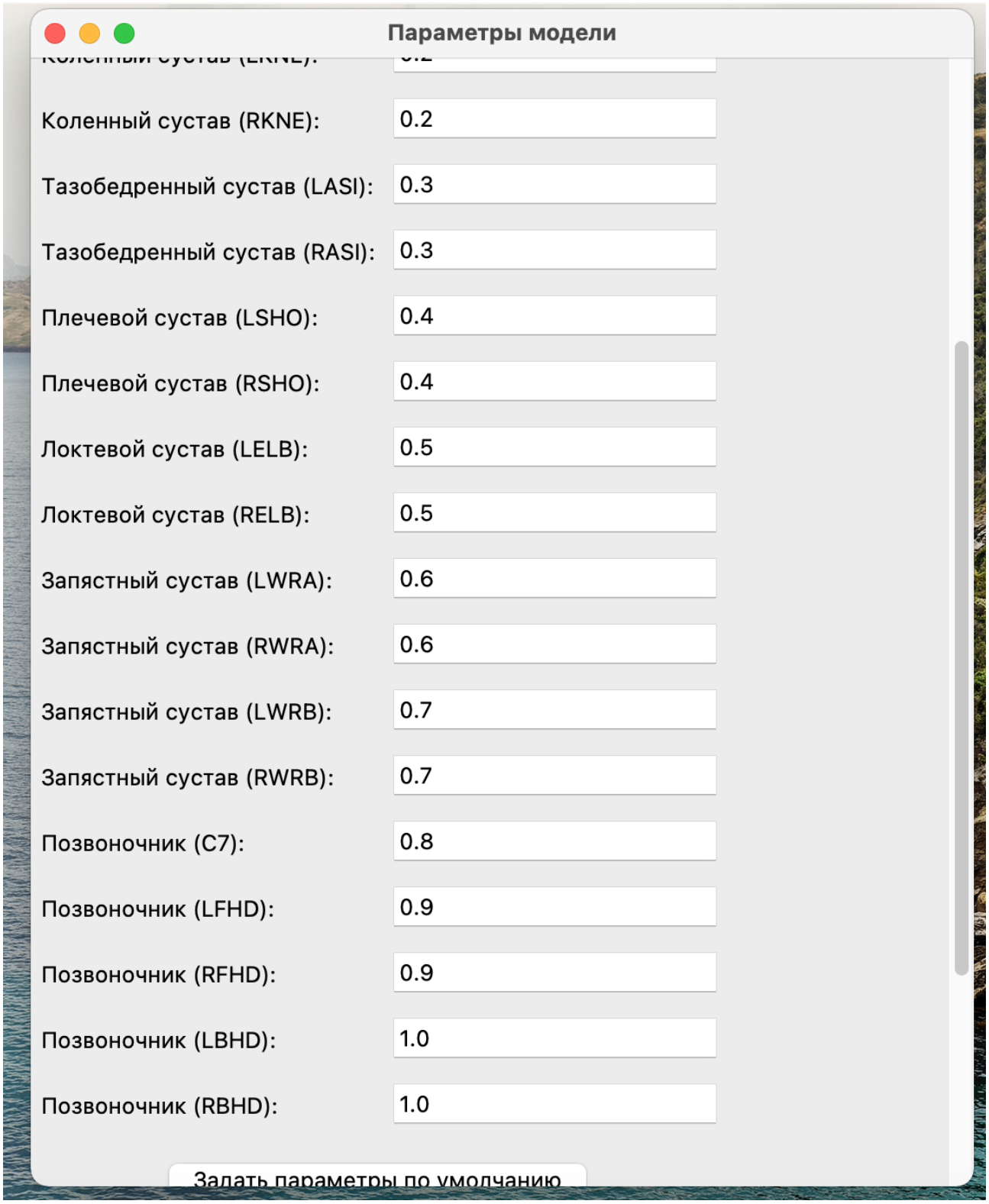

Рисунок 21 – Параметры по умолчанию

Далее нажмём кнопку «сохранить как» (рисунок 22). Здесь мы можем сохранить параметры, как в формате .txt, так и .json.

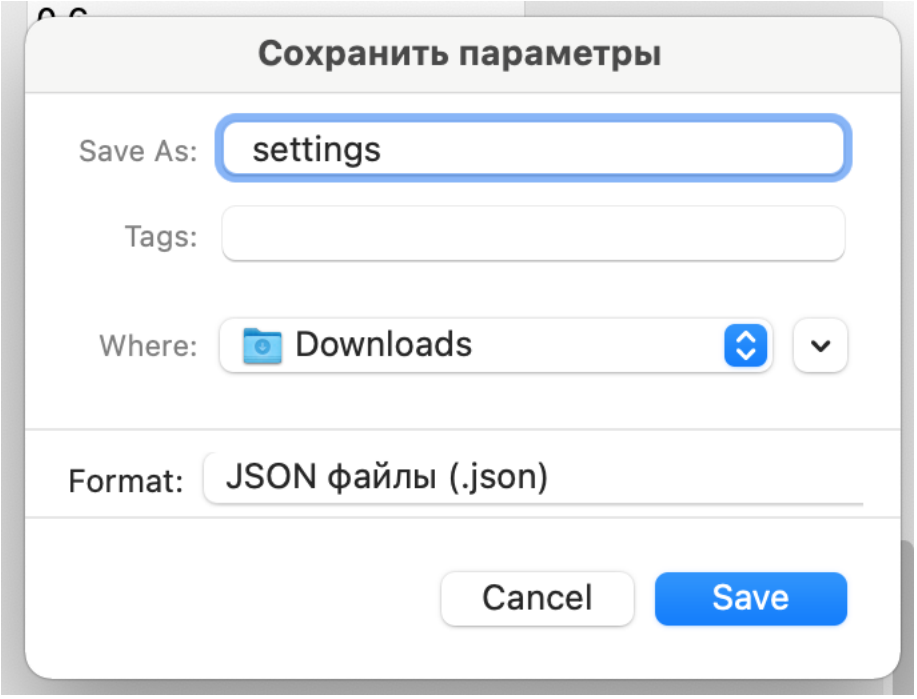

Рисунок 22 – Сохранение параметров

Получим окно подтверждения (рисунок 23).

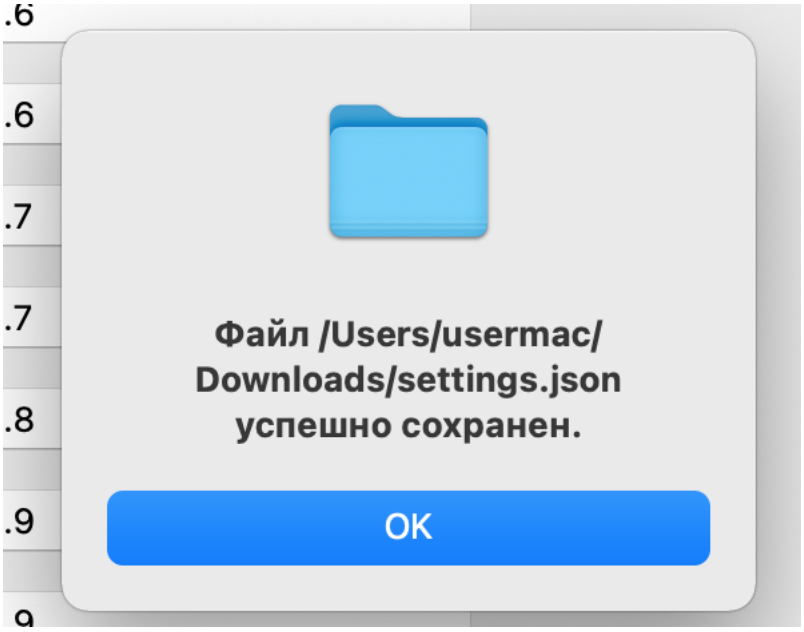

Рисунок 23 – Подтверждение сохранения

Откроем файл и проверим какая информация была передана в файл (рисунок 24).

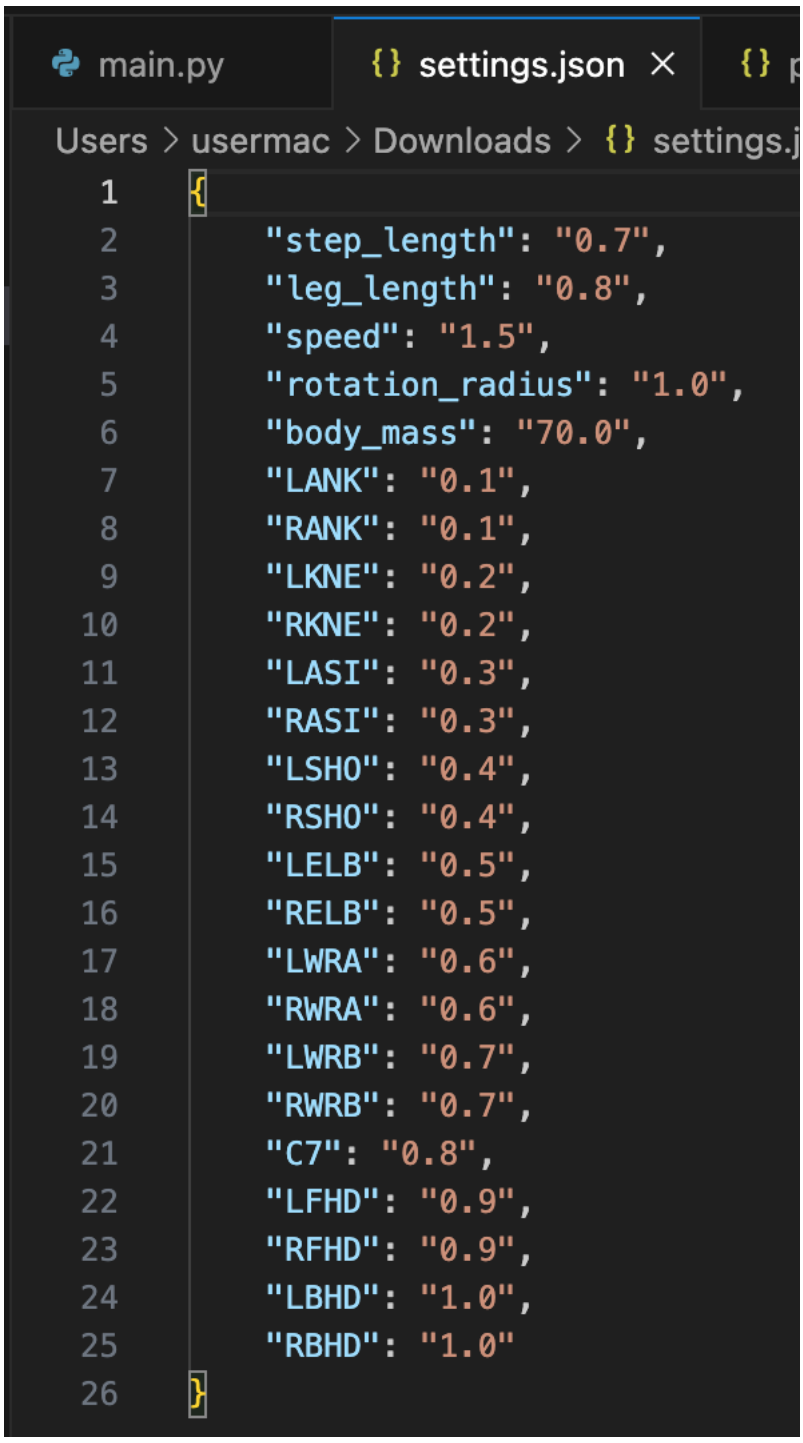

Рисунок 24 – Файл сохранённых параметров

Теперь попробуем загрузить параметры о модели из внешнего .txt файла (рисунок 25).

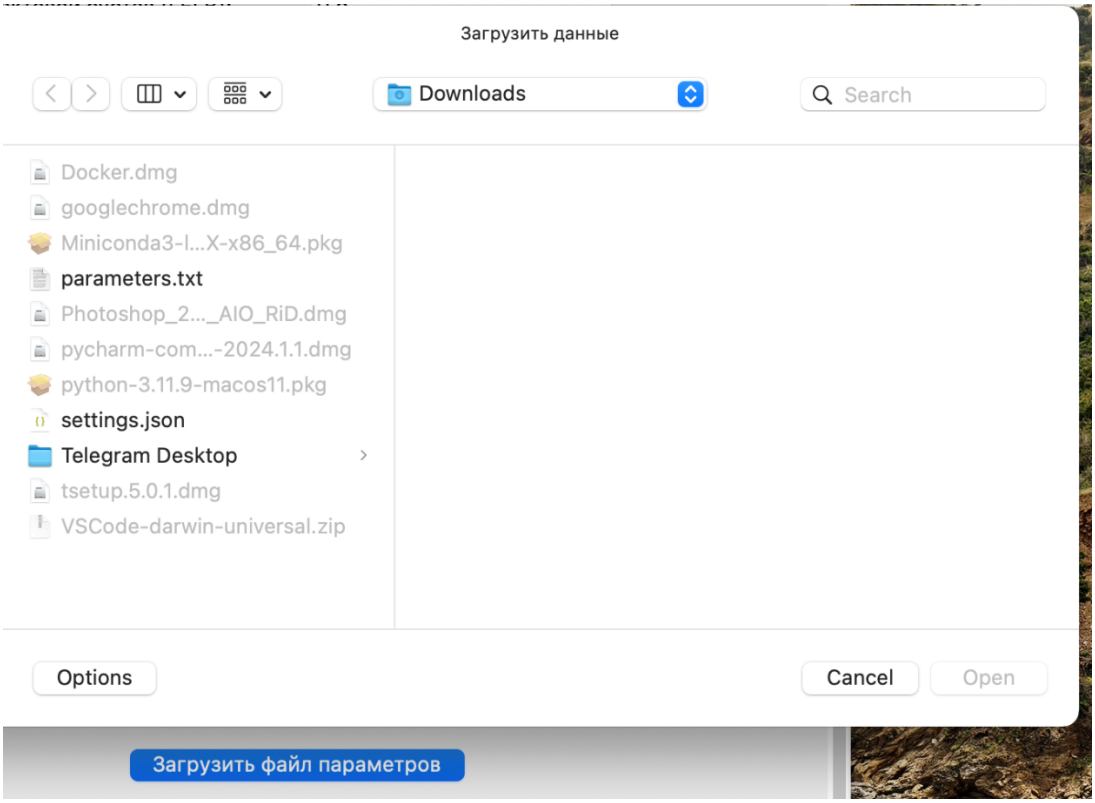

Рисунок 25 – Диалоговое окно загрузки параметров

На рисунке 26, будет представлено содержание файла параметров. На нём мы видим названия параметров и после знака двоеточия, значение данного параметра.

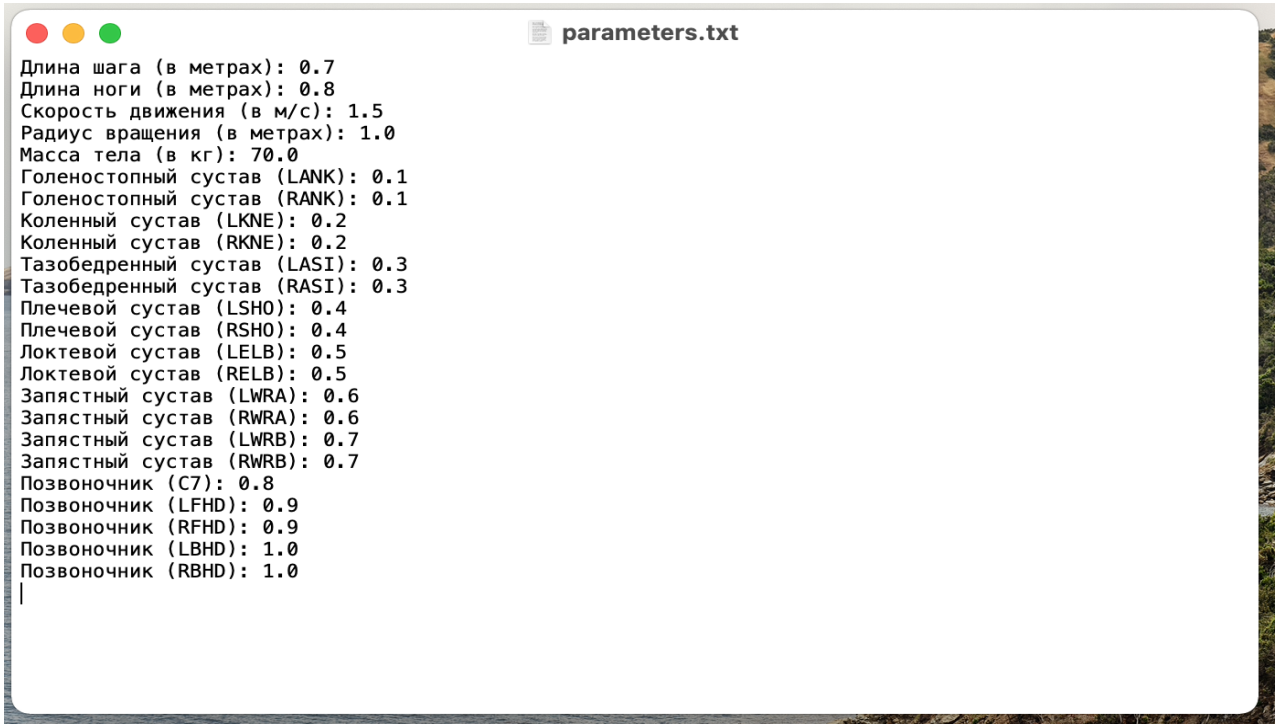

Рисунок 26 – Текстовый файл параметров

Нажмём кнопку «Оценка кинематики и динамики» рисунок 27.

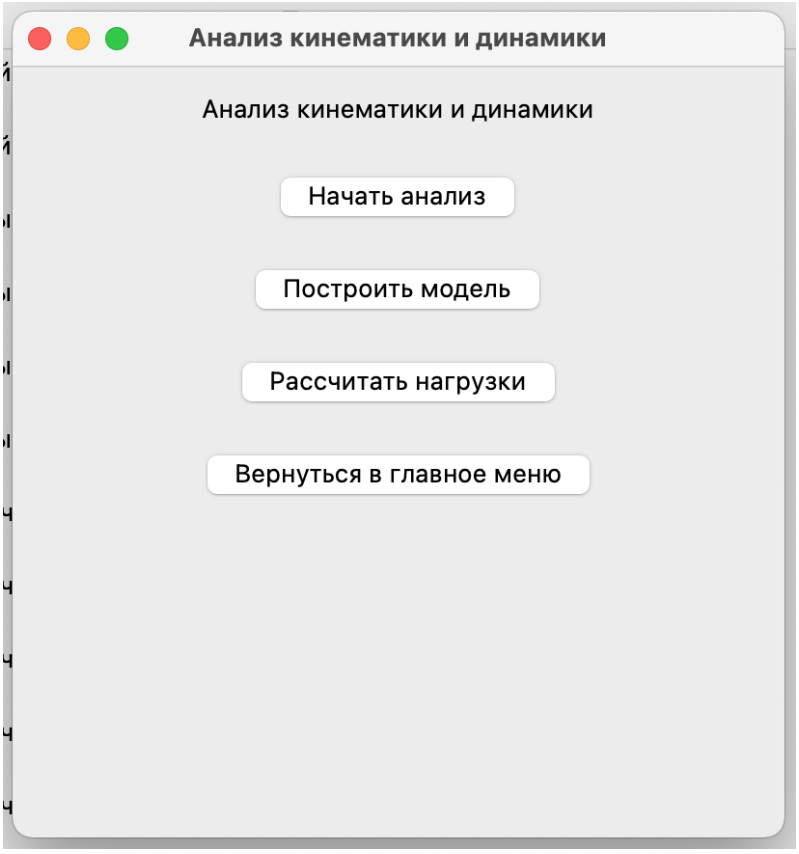

Рисунок 27 – Окно оценки кинематики и динамики

На данном рисунке имеется некоторое количество предоставленных для пользователя действий, давайте сперва проведем анализ (рисунок 28).

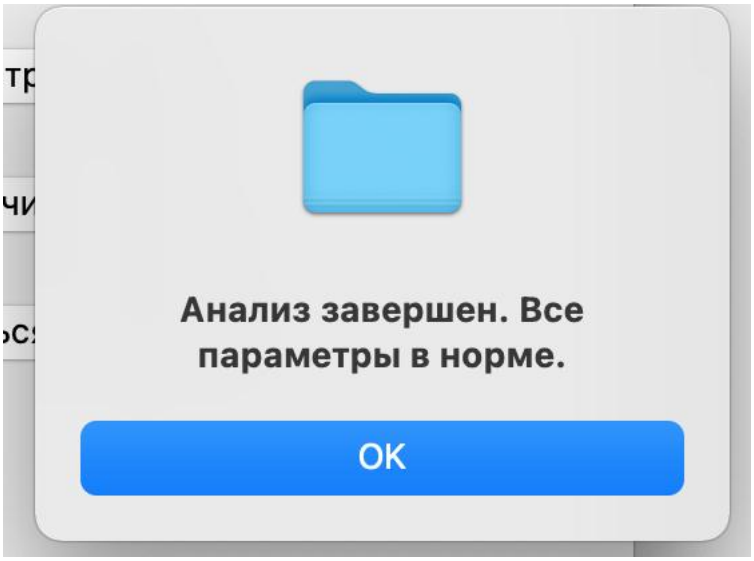

Рисунок 28 – Окно анализа

Вернемся в меню анализа кинематики и динамики и построим по нашим параметрам анимацию модели (рисунок 29).

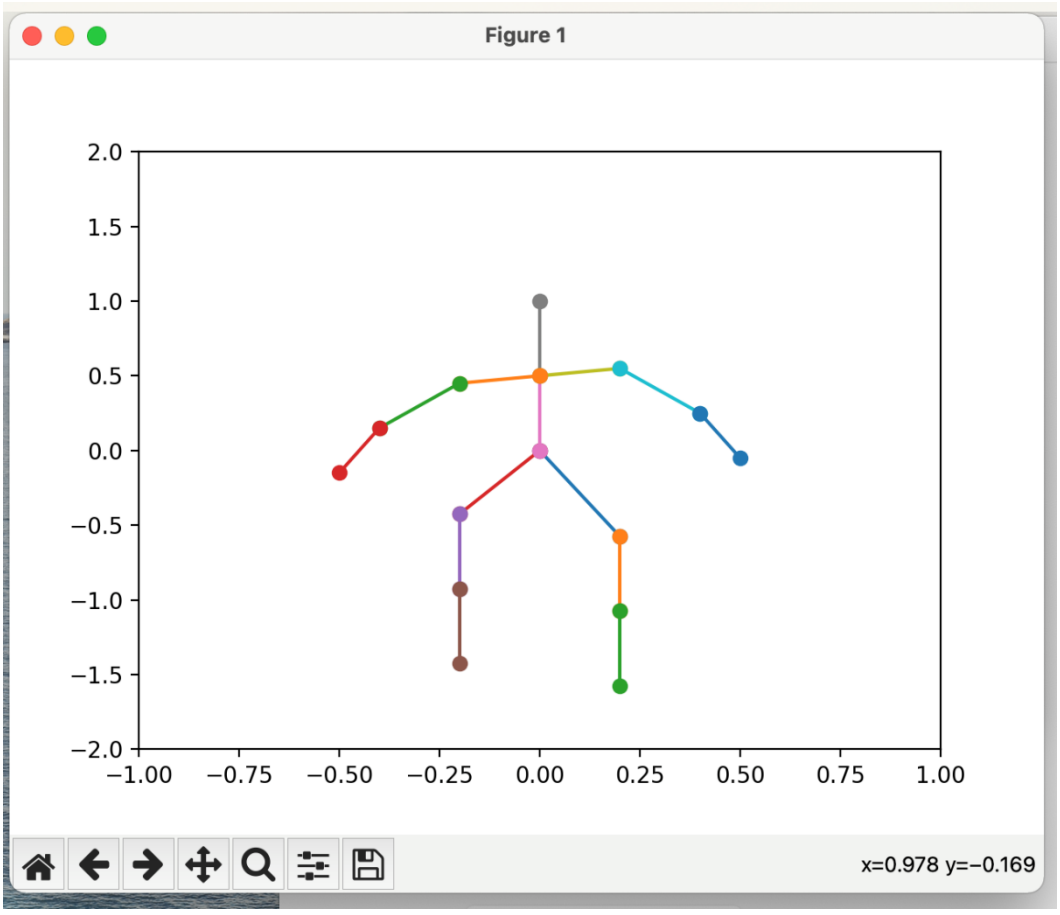

Рисунок 29 – Окно анимации модели

В данном случае модель показывает анимацию ходьбы, показывая передвижение проекции суставов и костей. Вернёмся в предыдущее меню и рассчитаем нагрузки на опорно-двигательный аппарат (рисунок 30).

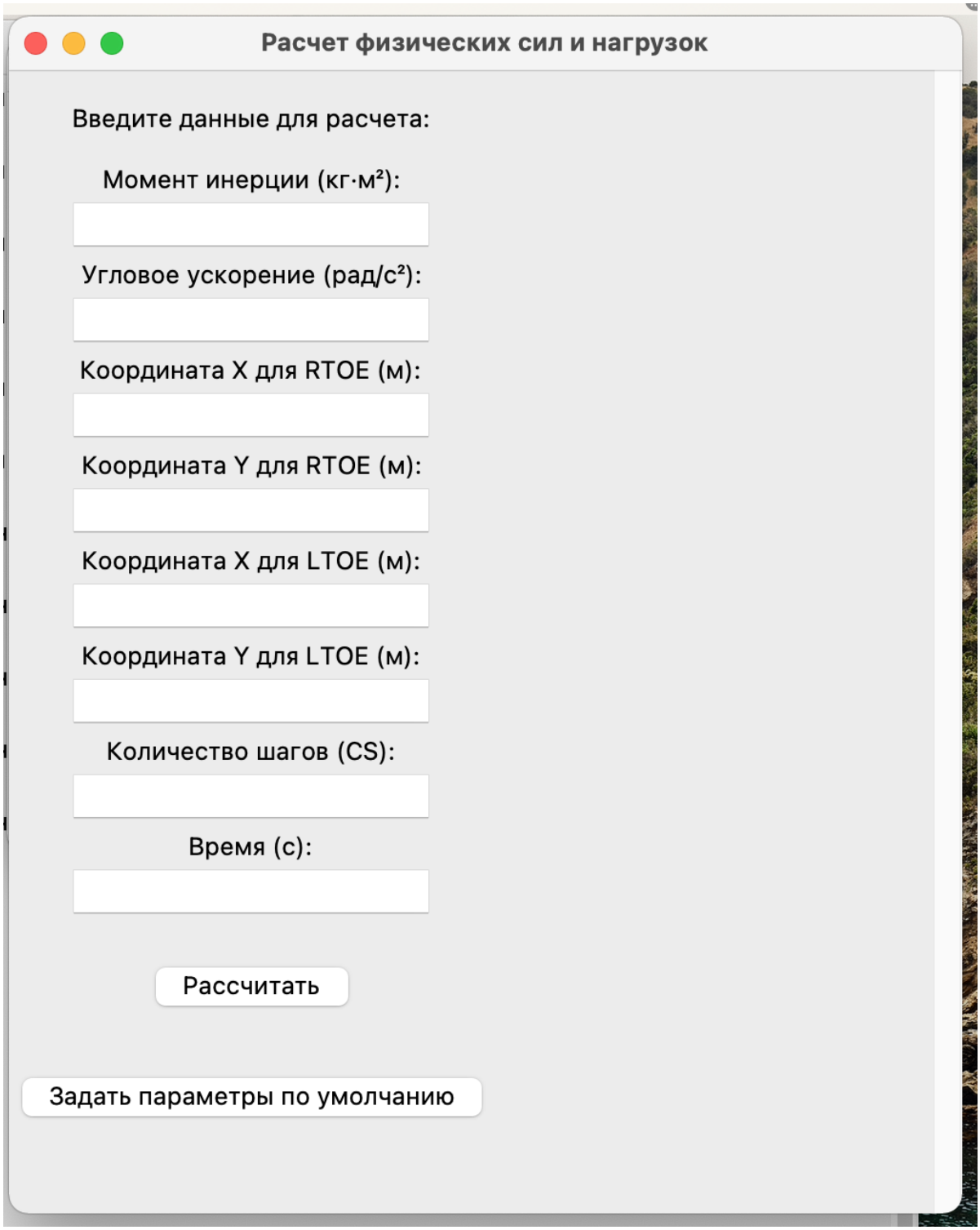

Рисунок 30 – Окно расчёта физических сил и нагрузок

Зададим параметры по умолчанию (рисунок 31).

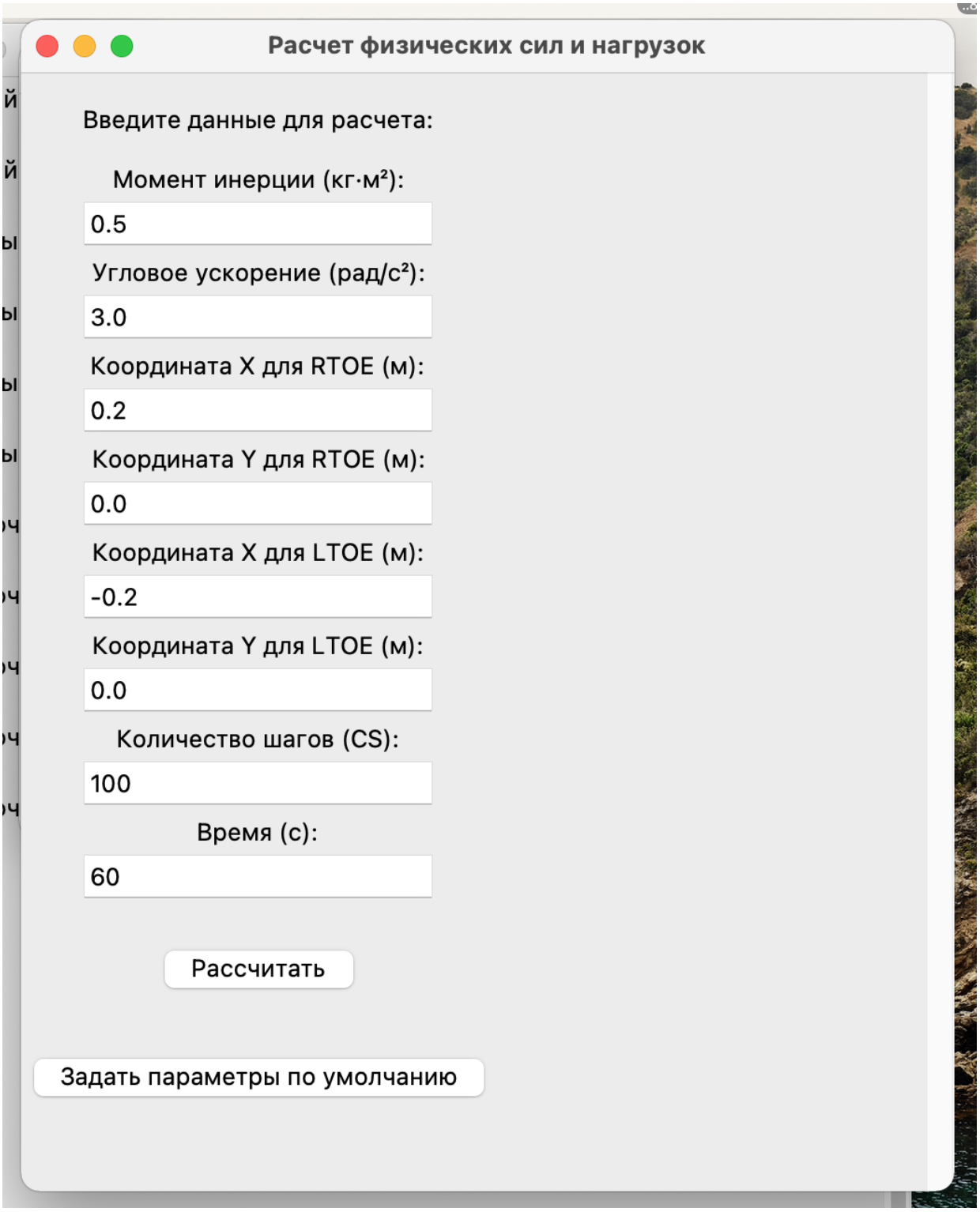

Рисунок 31 – Окно расчёта физических сил и нагрузок

Далее произведём расчёт и получим ответ (рисунок 32), а также диаграмму на (рисунок 33).

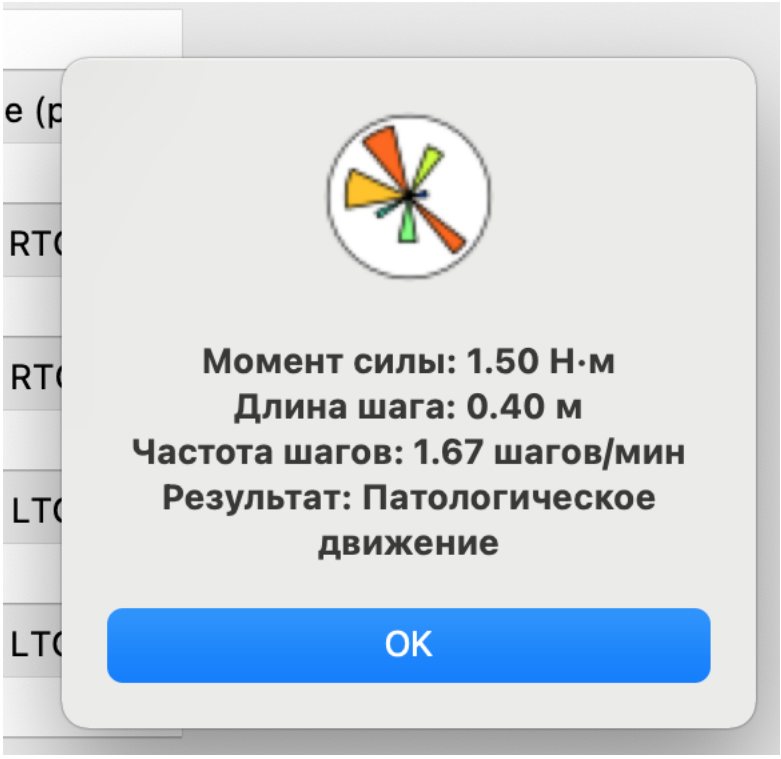

Рисунок 32 – Результат расчёта

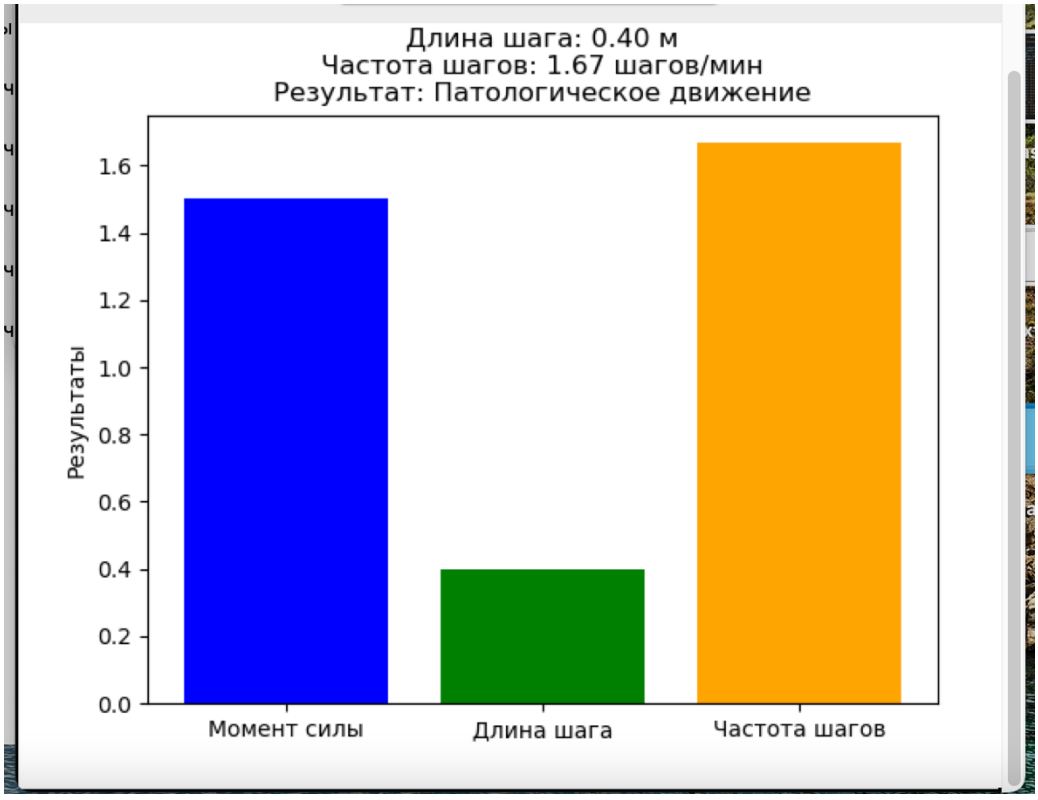

Рисунок 33 – Диаграмма расчёта

3.4 Результаты фактического тестирования программного продукта

Для обеспечения корректной работы информационно-аналитической системы (ИАС) был разработан план тестирования, который включает следующие этапы:

- модульное тестирование: проверка каждого компонента ИАС на корректность работы и соответствие функциональным требованиям;

- интеграционное тестирование: проверка взаимодействия между различными модулями ИАС и их совместной работоспособности;

- функциональное тестирование: проверка выполнения основных функций ИАС, включая сбор данных, их обработку, анализ и визуализацию результатов.

3.4.2 Модульное тестирование

Модульное тестирование – это процесс, в котором мы проверяем взаимодействие отдельных компонентов программного продукта на соответствие их спецификации и корректность работы в изоляции от других частей системы. Этот вид тестирования позволяет обнаруживать и устранять ошибки на ранних стадиях разработки, что способствует повышению качества и надежности программы.

Давайте составим несколько тестов: Тест на сбор данных о движениях (рисунок 34):

- здесь мы проверяем, чтобы наши данные корректно обрабатывались программой без ошибок;

-проверяем, что данные успешно собираются и сохраняются в файл.

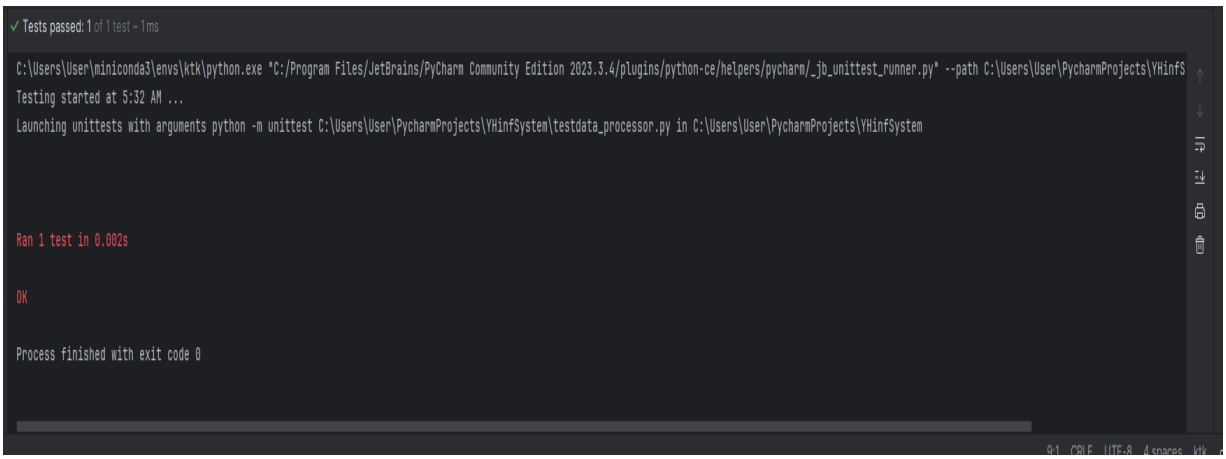

Рисунок 34 – Тест на сбор данных о движениях

Тест на вычисление кинематических параметров (рисунок 35):

- подаем обработанные данные о движениях конкретного человека;

- проверяем, что программа правильно вычисляет кинематические параметры.

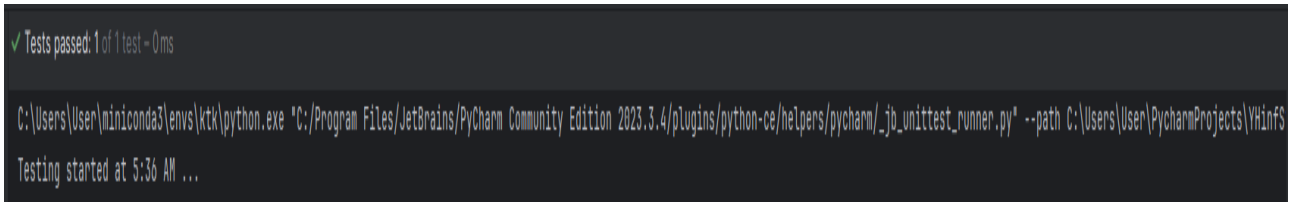

Рисунок 35 – Тест на вычисление кинематических параметров

Тест на визуализацию результатов (рисунок 36):

- подаем вычисленные кинематические и динамические параметры для визуализации движения;

- проверяем, что результаты анализа успешно визуализируются в графическом интерфейсе пользователя, в виде графиков или анимации.

Рисунок 36 – Тест на визуализацию результатов

3.4.3 Интеграционное тестирование

Интеграционное тестирование – это процесс в котором мы проверяем взаимодействие между различными компонентами программного продукта для обеспечения их совместной работоспособности. Этот вид тестирования помогает выявить и исправить ошибки, возникающие при интеграции отдельных модулей или компонентов в единую систему (рисунок 38).

Рисунок 38 – Интеграционное тестирование

3.4.4 Функциональное тестирование

Функциональное тестирование – это процесс, в котором мы проверяем основные функции программного продукта для обеспечения их корректной работы. Оно фокусируется на том, как программное обеспечение взаимодействует с пользователем и выполняет свои функции.

В рамках информационно-аналитической системы (ИАС) для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека проведя функциональное тестирование мы проверили каждую заявленную функция системы, и они работают должным образом. Это включает в себя сбор данных, их обработку, анализ и визуализацию результатов.

Пользовательский опыт также является важным аспектом функционального тестирования. Это включает в себя проверку удобства использования интерфейса, понятность инструкций и доступность функций. Можно удостовериться, что пользователь сможет легко освоить систему и успешно выполнить необходимые операции.

В ходе функционального тестирования проверялись следующие функции, как:

- внесение кинематических и динамических данных и их обработка;

- вычисления;

- визуализация модели опорно-двигательного аппарата.

В процессе функционального тестирования мы можем удостовериться в работоспособности нашего программы и убедиться в том, что она соответствует требованиям.

3.4.5 Процесс отладки и исправления ошибок

В процессе разработки ИАС были выявлены различные ошибки и недочеты, которые требовали отладки и исправления. Для этого использовались следующие методы:

- Логирование: фиксирование действий и событий в программе для выявления возможных ошибок и проблем.

- Отладчик: использование средств отладки для поиска и исправления ошибок в коде программы.

- Тестирование на стабильность: запуск программы на протяжении длительного времени с целью выявления возможных утечек памяти или других проблем, которые могут привести к сбоям.

3.4.6 Проверка функциональности и производительности

Для проверки функциональности и производительности информационно-аналитической системы (ИАС) для исследования кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека мы провели серию тестов на специально подготовленной тестовой системе.

Характеристики тестовой системы:

- процессор – Intel Core i7-9700K (8 ядер, 3.6 ГГц);

- оперативная память – 16 ГБ DDR4;

- жесткий диск – SSD 512 ГБ;

- графический процессор – NVIDIA GeForce RTX 2070 Super;

- операционная система – Windows 11 Pro.

Мы запустили ИАС на данной системе и провели ряд тестов, включая:

Проверку основных функций ИАС: сбор данных о движениях человека, их обработку, анализ и визуализацию результатов. Мы удостоверились, что все функции работают корректно и без сбоев.

После проведения тестов мы пришли к выводу, что ИАС работает стабильно, корректно выполняет свои функции и обладает приемлемой производительностью на тестовой системе.

Результаты тестирования позволили убедиться в корректной работе ИАС и ее способности обрабатывать и анализировать данные о движениях человека с высокой точностью и скоростью.

3.5 Оценка достоверности результатов

Проведенное тестирование ИАС позволило удостовериться в надежности и точности ее работы. Мы уделяли особое внимание верификации и валидации алгоритмов, используемых для обработки данных о движениях человека. Результаты тестирования подтвердили, что ИАС способна корректно обрабатывать данные и выдавать достоверные результаты анализа кинематических и динамических параметров.

3.5.1 Анализ практической значимости

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость. Например, в медицине ИАС может быть использована для диагностики и реабилитации пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, а также для разработки индивидуализированных программ лечения и тренировок. В спорте она поможет улучшить тренировочный процесс и анализировать движения спортсменов для повышения их результативности. В индустрии развлечений ИАС может быть использована для создания интерактивных игр или виртуальной реальности, имитирующих движения человека.

3.5.2 Выводы и рекомендации

ИАС успешно прошла все этапы разработки и тестирования, что подтверждает ее эффективность и готовность к применению. Рекомендуется продолжить работу по улучшению пользовательского интерфейса, расширить

функциональность системы и провести дополнительные исследования для выявления новых возможностей применения ИАС. Также важно осуществлять регулярное обновление и поддержку программного обеспечения, чтобы обеспечить его актуальность и соответствие современным требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была разработана и исследована информационно-аналитическая система для анализа кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека. Основной целью исследования являлось создание программы, которая бы позволяла изучать движения человека, выявлять их кинематические и динамические параметры, а также различать здоровое и патологическое движения.

В процессе работы были выполнены следующие задачи:

- изучены теоретические основы кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека;

- проведен анализ существующих программ для исследования кинематических и динамических характеристик человеческого движения;

- разработана математическая модель, основанная на принципах кинематики и динамики, для описания движений опорно-двигательного аппарата человека;

- составлены алгоритмы для сбора и обработки данных о движениях человека;

- реализована информационно-аналитическая система с удобным графическим интерфейсом на основе библиотеки tkinter;

- выполнен анализ полученных результатов и оценка эффективности разработанной системы.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанной системы в различных областях, таких как медицина, спортивная наука и реабилитация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1 Информационно-аналитические системы // Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского электротехнического университета - АО «НИЦ СПб ЭТУ» URL: http://rec-etu.com/index.php/ru/resheniya-i-proekty/informatsionno-analiticheskie-sistemy. – 01.03.2024.

2 Кинематика // Казахстан. Национальная энциклопедия. – Алматы: Казак энциклопедия, 2005. – Т. III. – ISBN 9965-9746-4-0. (CC BY-SA 3.0).

3 Жидких, Т. М. Практикум по биомеханике: учебное пособие для вузов / Т. М. Жидких, Д. В. Горбачев, В. С. Минеев. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2024. – 96 с. – ISBN 978-5-507-47585-8. – Текст: электронный / Лань: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/393467. – 11.03.2024.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Арунин, А.С. Биологические свойства скелетных мышц и сухожилий / А.С. Арунин, В.М. Зациорский. / М., 1980. – 64с.

2 Башкиров, В.Ф. Причины травм и их профилактика / Теория и практика физической культуры. 1989. – №9. – С.33-34.

3 Бендалл, Дж.Р. Мышцы, молекулы и движение / Дж.Р. Бендалл М.: Мир, – 1970. – 256 с.

4 Великсон, В.М. Клиническая биомеханика / В.М. Великсон, И.И Менделевич, В.В. Петелина / Клиническая биомеханика. Л.: Медицина, 1980. – 199 с.

5 Воробьев, Г.Н. Почему возникают травмы и как их предупредить / Г.Н. Воробьев /Теория и практика физической культуры. 1989. – №9. – С.31-33.

6 Гладков, А.В. Клиническая биомеханика в диагностике патологии позвоночника / А.В. Гладков, Е.А. Черепанов / Хирургия позвоночника / 2004. – 109 с.

7 Гниденко, И. Г. Технологии и методы программирования [Электронный ресурс] / И. Г. Гниденко, Ф. Ф. Павлов, Д. Ю. Федоров. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 248 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/536903. – 07.06.2024.

8 Горохова, И. Г. Комбинированные методы двигательной реабилитации / И. Г. Горохова, Е. В. Зимина, В. Д. Даминов / Материалы II Всеросийской научно-практической конференции. – Светлогорск, 2008. – С. 49-50.

9 Гурфинкель, В. С. Регуляция позы человека / В. С. Гурфинкель, Я. М. Коц, М. Л. Шик. М.: Наука, 1965. – 256 с.

10 Дамулин, И. В. Двигательные нарушения после инсульта: патогенетические и терапевтические аспекты / И. В. Дамулин, Е. В. Кононенко / Consilium Medicum. 2007. – №2. – С. 86-91.

11 Джалилов, А. А. Биомеханика двигательной деятельности: учебное пособие [Электронный ресурс] / А. А. Джалилов, К. Л. Меркурьев. – Тольятти: ТГУ, 2013. – 27 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/140210. – 11.03.2024.

12 Дрожжин, В.В. Сборник заданий по теоретической механике. Кинематика [Электронный ресурс] / В.В. Дрожжин, – СПб.: Лань, 2012. – 192 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/3547/#2. – 07.06.2024.

13 Епифанов, В. А. Медицинская реабилитация / В. А. Епифанов. – М.: МЕДпресс информ., 2005. – 328 с.

14 Жидких, Т. М. Практикум по биомеханике [Электронный ресурс] / Т. М. Жидких, Д. В. Горбачев, В. С. Минеев. – СПб.: Лань, 2024. – 96 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/393467. – 11.03.2024.

15 Завьялов, А. В. Диаграммы UML для анализа и проектирования информационных систем [Электронный ресурс] / А. В. Завьялов. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – 65 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/218630. – 08.02.2024.

16 Зайцев, В. М. Прикладная медицинская статистика / В. М. Зайцев, В. Г. Лифляндский, В. И. Маринкин. СПб.: Фолиант, 2006. – 432 с.

17 Замараев, В. А. Анатомия для студентов физкультурных вузов и факультетов [Электронный ресурс] / В. А. Замараев, Е. З. Година, Д. Б. Никитюк. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 353 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/536561. – 07.06.2024.

18 Кинематика // Казахстан. Национальная энциклопедия. – Алматы: Казак энциклопедия, 2005. – Т. III. – ISBN 9965–9746–4–0. (CC BY–SA 3.0).

19 Комарова, Н.А. Биомеханика двигательной деятельности [Электронный ресурс] / Н. А. Комарова, И. В. Шиндина. – Саранск: МГПИ им. М.Е. Евсевьева, 2017. – 113 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/163488. – 11.03.2024.

20 Корнетов, Н. А. Концепция клинической антропологии в медицине / Н. А. Корнетов / Бюл. сиб. медицины. 2008. – №1. – С. 7-30.

21 Корнетов, Н. А. Учение о конституции человека в медицине: от исторической ретроспективы до наших дней / Н. А. Корнетов / Материалы IV Международного конгресса по интегративной антропологии. СПб., 2002. – С. 190-193.

22 Крицкая, С. И. Ранняя комплексная многокомпонентная двигательная реабилитация пациентов после каротидного ишемического. инсульта / С. И. Крицкая, В. П. Сакович, В. Б. Аретинский / Урал. мед. журн. 2008. – №1. – С. 31-37.

23 Лайшева, О.А. Концептуальный подход к восстановительному лечению больных с патологией опоры и движения / О.А. Лайшева, В.В. Кармазин, Д.А. Кисилев и др. / ЛФК и массаж. 2006. – №11. – С. 14-21.

24 Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика [Текст]: учебник для вузов /Ю. Ф. Лачуга, В. А. Ксендзов. – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС,2010. – 576 с.

25 Левин В. Человек, разгадавший тайну живого движения. «Наука и жизнь». 2005. № 10. – С. 10-12.

26 Лоттер, Р. Blender: новый уровень мастерства [Электронный ресурс] / Р. Лоттер; перевод с английского И. Л. Люско. – М.: ДМК Пресс, 2023. – 452 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/348074. – 28.02.2024.

27 Любимова, З. В. Организм человека. Опорно-двигательная и висцеральные системы [Электронный ресурс] / З. В. Любимова, А. А. Никитина. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 349 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/534163. – 07.06.2024.

28 Малков, А.Б. Проблемы надежности результатов анализа кинематики ходьбы посредством видеоанализа движений [Электронный ресурс] / А. Б. Малков / Сибирское медицинское обозрение. – 2020. – № 2. – С. 20-29. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/journal/issue/314734. – 01.03.2024.

29 Никитюк, Б. А. Современная морфология и перспективы повышения физической дееспособности человека / Б. А. Никитюк / Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии. 1989. – №1. – С. 5-13.

30 Николаев, В. Г. Изменчивость морфофункционального статуса человека в, отечественной биомедицинской антропологии (сообщ. 1) / В. Г. Николаев / Сиб: мед. обозрение. 2008. – №3. – С. 49-52.

31 Николаев, В. Г. Изменчивость морфофункционального статуса человека в отечественной биомедицинской, антропологии, (сообщ. 2) / В. Г. Николаев / Сиб. мед. обозрение. 2008. – №6. – С. 67-71.

32 Околокулак, Е. С. Анатомия человека [Электронный ресурс] / Е. С. Околокулак, Ф. Г. Гаджиева, С. А. Сидорович, Д. А. Волчкевич. – Минск: Высшая школа, 2021. – 416 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/193791. – 08.02.2024.

33 Панин, В. А. Анатомия человека (Биодинамические аспекты опорно-двигательного аппарата человека / В. А. Панин, Э. Г. Галкин. – Калининград: Изд-во КГУ, 1995. – 59 с.

34 Пивченко, П.Г. Анатомия опорно-двигательного аппарата: учеб. пособие / П. Г. Пивченко, Н. А. Трушель, Д. В. Ковалева; Белорус. гос. мед. ун-т, Каф. норм. анатомии. – 2-е изд., доп. – Минск: БГМУ, 2011. – 147 с.

35 Попов, С. Н. Восстановление двигательных функций нижней конечности у больных в остром периоде ишемического инсульта с применением роботизированной системы "Erigo" / С. Н. Попов, И. Г. Горохова / ЛФК и массаж. – 2010. – № 4. – С. 30-33.

36 Поляков, Н. Д. Опорно-двигательный аппарат. Спланхнология человека. Ч. 1. / Н. Д. Поляков, А. П. Салей, С. Н. Семенов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 49 с.

37 Похабов, Д. В. Методология и новые возможности коррекции нарушений ходьбы при паркинсонизме / Д. В. Похабов, В. Г. Абрамов, Ю. В. Нестерова / Вестн. рос. воен.-мед. акад. – 2010. №4. – С. 72-76.

38 Похабов, Д. В. Сравнительная оценка параметров ходьбы у клинически здоровых лиц и больных с болезнью Паркинсона и сосудистым паркинсонизмом / Д. В. Похабов, В. Г. Абрамов / Функциональная диагностика. 2005. – №3. – С. 68-71.

39 Привес, М. Г. Анатомия человека / М. Г. Привес, Н. К. Лысенков, В. И. Бушкович; под. ред. М. Г. Привеса. 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1985. – 672 с.

40 Рыбакова, Н. С. Опорно-двигательный аппарат человека: строение, функции и особенности развития [Электронный ресурс] / Н. С. Рыбакова, А. А. Андреева, Т. Н. Киселева. – Тамбов: ТГУ им. Г.Р.Державина, 2020. – 94 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/170380. – 08.02.2024.

41 Савельева, И.Е. Применение компьютерной антропометрии при диагностике и восстановительном лечении больных с постинсультными двигательными дефектами / И. Е. Савельева, А. Н. Новосельский, И. А. Сеницкий, И. В. Белов / Мед. техника. 2006. – №2. – С. 31-33.

42 Серова, М. Н. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн [Электронный ресурс] / М. Н. Серова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2022. – 272 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/322205. – 28.02.2024.

43 Учебное пособие по диаграммам последовательностей [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://creately.com/blog/ru. – 20.02.2024.

44 Федоров, Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python [Электронный ресурс] / Д. Ю. Федоров. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 227 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/539652. – 07.06.2024.

45 Хэцин Юй Теоретические модели биомеханики для анализа динамических сценариев [Текст] / Синтез науки и образования как инструмент решения глобальных проблем современности: сборник статей Всероссийской научно-практическая конференции с международным участием (г. Волгоград, РФ, 28 апреля 2024г.). – Уфа: Аэтерна, 2024. – 39-41 С.

46 Хэцин Юй Анализ теоретических моделей для определения динамических характеристик человеческого движения [Текст] / Кооперация науки и общества как инструмент модернизации инновационного развития: сборник статей Всероссийской научно-практическая конференции с международным

участием (г. Волгоград, РФ, 28 апреля 2024г.). – Уфа: Аэтерна, 2024. – 24-26 С.

47 Цехмистренко, Т. А. Анатомия человека [Электронный ресурс] / Т. А. Цехмистренко, Д. К. Обухов. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 287 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/544562. – 07.06.2024.

48 Чернышев, С. А. Основы программирования на Python [Электронный ресурс] / С. А. Чернышев – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 349 с. – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/544194 – 07.06.2024.

49 Чурилов, Е. А. Павлова и др. / Лечеб. физкультура и спорт, медицина. – 2009. – №5. – С. 33-38.

50 Forster, ES Aristotle: parts of animals, movement of animals, progression of animals / Translated by Peck AL, E.S. Forster. Harvard: Harvard University Press. – 1968. – 560 с.