

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт педагогики, физической культуры, спорта и туризма  
Кафедра физкультурно-оздоровительных технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению лабораторных работ**

**по дисциплине (модулю)**

**«Биомеханика»**

**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**44.03.01 Педагогическое образование**

с направленностью (профилем)  
**Физическая культура**


Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 440301-01-23

Тула 2023 год

**Разработчик(и) методических указаний**

Васин А.А., доцент каф. ФОТ, к.т.н.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A.A. Vasin', is written over a horizontal line.

## 1. Цели и задачи лабораторных работ.

**Целью** освоения дисциплины (модуля) является освоение биомеханических основ строения двигательного аппарата человека и его движений для применения физических упражнений как средства физического воспитания и повышения спортивного мастерства, биомеханически обоснованного построения обучения технике упражнений и спортивной тренировки.

**Задачами** освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование знаний, умений и навыков биомеханического анализа и синтеза движений человека, основанных на современных достижениях спортивной биомеханики и кинезиологии;
- овладение графоаналитическими методами определения биомеханических характеристик тела человека и его движений;
- овладение профессионально-педагогическими умениями и навыками обоснования техники соревновательных и тренировочных упражнений и их умелое использование как во время практических занятий с обучаемыми, так и в научных исследованиях;
- знакомство с современными технологиями и методами биомеханического анализа и обучения технике движений.

Объём и сроки выполнения данного вида работ соответствуют учебным планам.

## 2. Типовой план лабораторного занятия.

1. Краткий разбор вопросов студентов по предыдущей лабораторной работе.
2. Рассмотрение основных теоретических и практических положений по теме текущей лабораторной работы с проверкой знаний студентов путем прямого опроса.
3. Рассмотрение методики выполнения лабораторной работы с разбором возникших вопросов.
4. Самостоятельное выполнение студентами основной части лабораторной работы, связанной с получением экспериментальных данных и их первичной обработки.
5. Формулировка домашнего задания по самостоятельному завершению лабораторной работы и оформлению отчета.

## 3. Темы лабораторных работ.

№ п/п	Наименования лабораторных работ
<b>5 семестр</b>	
1	Построение биокинематической схемы (промера) позы спортсмена графическим и цифровым способом
2	Определение инерционных характеристик тела человека и отдельных его звеньев

№ п/п	Наименования лабораторных работ
3	Определение положения общего центра массы тела графическим и цифровым способом. Оценка статической устойчивости позы
4	Определение кинематических характеристик движения звеньев тела человека по фото- киноматериалам
5	Построение хронограммы движения, индексное описание позы и движения тела человека
6	Определение динамических характеристик движения
7	Определение полезной механической работы и средней мощности
8	Определение показателей электроактивности мышц с помощью миографа

#### 4. Содержание лабораторных работ.

##### Лабораторная работа №1

##### Построение биокинематической схемы (промера) позы спортсмена графическим и цифровым способом

**Цель работы.** Научиться строить биокинематическую схему (промер) с использованием в качестве исходной информации фотографического изображения позы спортсмена на бумажном носителе или в виде цифрового (растрового) изображения.

**Исходные данные.** Изображение позы спортсмена в виде цифрового изображения и в распечатанном на бумаге виде.

##### Ход выполнения работы.

1. Выбрать статическую позу из соответствующей спортивной специализации (необязательный пункт) и произвести фотосъемку спортсмена в этой позе на фоне координатной сетки или иного объекта, позволяющего произвести привязку и масштабирование координатных осей системы отсчета (линейка, длиной от 0,5м до 1м, спортивный инвентарь, размеры которого известны или могут быть измерены и обязательно нанесены на фотографию (тумба, скамья, степ-платформа, гимнастический конь и т.п.)).

Следует придерживаться следующих принципов: следует выбрать фронтальный вид спортсмена (спереди или сзади) или в профиль (справа или слева); для использования изображения в последующих работах предпочтение следует отдать позе, в которой спортсмен будет иметь не менее двух точек опоры; для облегчения идентификации границ звеньев тела (центров суставов) на изображении желательно разместить на теле спортсмена и на его одежде оптически различимые маркеры (например, наклейки из белого медицинского пластыря); в цифровой форме изображение должно иметь достаточно высокое разрешение.

2. Провести измерения длин звеньев тела спортсмена как расстояния между центрами основных суставов, ограничивающих звенья тела. Полученные результаты, выраженные в системе СИ, занести в таблицу 1.1.

Общие рекомендации: при измерениях положение туловища, шеи и головы спортсмена должно быть строго вертикально, рекомендуется для измерений привлекать ассистента.

Длина звена «голова-шея» измеряется как расстояние между ключичной впадиной и центром слухового прохода. Длина плеча и предплечья измеряется в согнутом под прямым углом в локте положении руки. Длина кисти измеряется от центра лучезапястного сустава до кончика наиболее выступающего пальца, обычно третьего. Длину бедра, голени и стопы следует измерять без обуви, поставив ногу на возвышение около полуметра, например на стул. Длина ступни измеряется от крайней точки пяточного бугра до кончика наиболее выступающего пальца, обычно большого. Высота стопы измеряется от центра голеностопного сустава (лодыжки) до поверхности опоры, на которой стоит нога, вдоль перпендикуляра, опущенного к опоре. Длина туловища измеряется как расстояние между яременной впадиной и лобковым симфизом.

Таблица 1.1 – Результаты масштабнo-графических измерений звеньев тела по 14-ти звенной модели

Название звена	Длина звена, измеренная $L_{зв}, (м)$	Длина звена по модели $L_{мод}, (м)$	Относительная погрешность, $\Delta, \%$	Угол наклона звена, рад
Голова (шея)				
Туловище				
Расстояние между плечевыми суставами				
Правое плечо				
Левое плечо				
Правое предплечье				
Левое предплечье				
Правая кисть				
Левая кисть				
Расстояние между тазобедренными суставами				
Правое бедро				
Левое бедро				
Правая голень				
Левая голень				
Правая стопа				
Левая стопа				
Высота правой стопы				
Высота левой стопы				

Под таблицей указать массу тела и рост спортсмена, например:  
«Рост спортсмена - 180см.  
Масса тела - 83 кг.»

Эти данные потребуются при выполнении дальнейших лабораторных работ.

**3.** Произвести графическое построение биокинематической схемы позы спортсмена на листе миллиметровой бумаги формата А4 в соответствии с распечатанной фотографией.

Для этого удобнее всего на фотографии нанести линию опоры спортсмена и обрезать фотографию по этой линии. Разместив фотографию линией опоры вдоль жирной линии миллиметровой бумаги, но не по рамке или краю листа, следует закрепить ее, например канцелярскими скрепками.

Подготовка кадра к обработке состоит в нанесении на фотографию опорных точек тела для 14-ти звенной модели (рисунок 1.1): центра тяжести головы и кистей рук (приблизительно центр слухового прохода и центр кисти соответственно), центров суставов. Границами звена «туловище» принимаются средние точки между плечевыми и тазобедренными суставами, независимо от положения тела это звено изображается прямым отрезком, соединяющим эти точки.

Перенос опорных точек на миллиметровую бумагу можно осуществить путем прокалывания нанесенных на фотографию точек шилом или иглой циркуля (швейной иглой).

После снятия фотографии с листа миллиметровой бумаги места проколов отмечаются точками, по которым вычерчивается 14-ти звенная модель позы спортсмена. Для определенности левую и правую часть модели удобнее изображать разным цветом (шариковая ручка или карандаш).

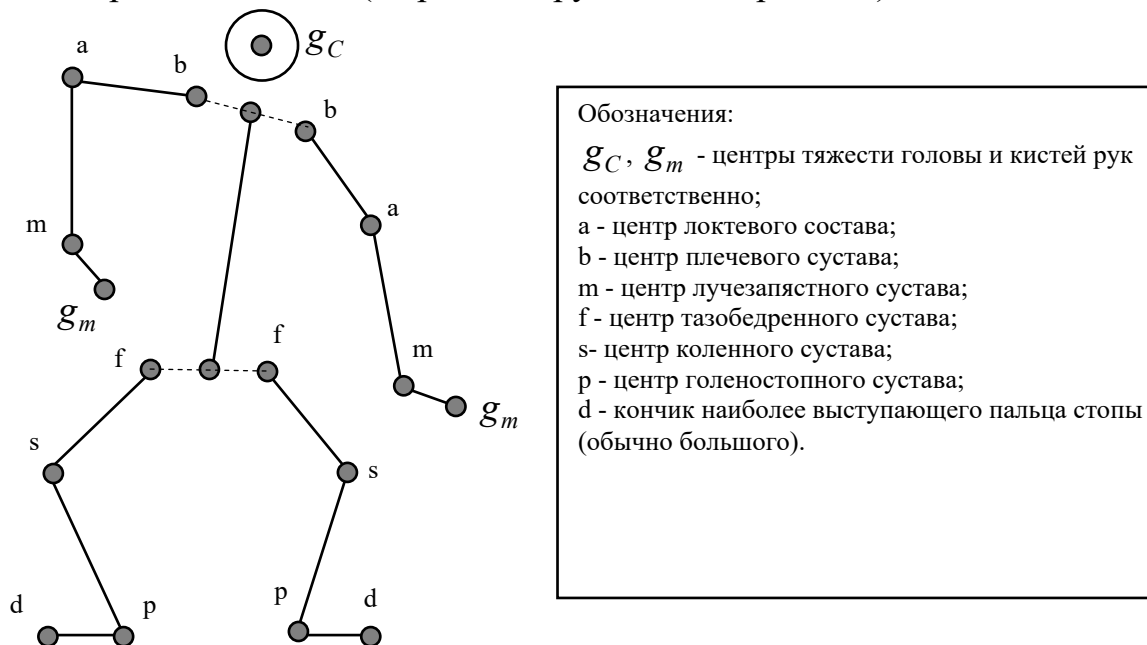


Рисунок 1.1 - 14-ти звенная модель тела человека

В биомеханических исследованиях могут быть использованы и более подробные модели тела человека, например, туловище телится по сочленениям позвоночника: крестцово-поясничное, пояснично-грудное, грудно-шейное, атлантозатылочный сустав. Но для прикладного биомеханического анализа изображений 14-ти звенной модели вполне достаточно.

4. Провести измерения длин звеньев тела в соответствии с моделью путем измерения с помощью линейки на построенной схеме и расчета в метрах с учетом масштаба. Измерить с помощью транспортира углы наклона звеньев по отношению к горизонтальной оси Ох схемы, градусные меры углов пересчитать в радианы, округлив до четвертого знака после запятой. Полученные результаты занести в таблицу 1.1. Пересчет градусов в радианы и наоборот осуществляется по формулам:

$$\alpha^{\circ} = \frac{\alpha_{рад} \cdot 180^{\circ}}{\pi}, \quad \alpha_{рад} = \frac{\alpha^{\circ} \cdot \pi}{180^{\circ}}.$$

Корректный биомеханический анализ изображения возможен, если известен его масштаб, масштабирующий коэффициент можно приблизительно рассчитать путем отношения известного (реального) размера некоторого объекта в плоскости кадра к его размеру на изображении:

$$k_M = \frac{H}{h},$$

где H - реальный размер объекта в метрах, h - размер объекта на изображении в тех единицах, в которых производится измерения на изображении (мм, см, дюймы, пиксели, если речь идет о цифровом изображении и т.п.).

5. Рассчитать погрешность определения длины каждого звена по масштабной схеме относительно натурных измерений, выразить в процентах и рассчитать среднюю арифметическую погрешность.

Формула, для вычисления погрешности:

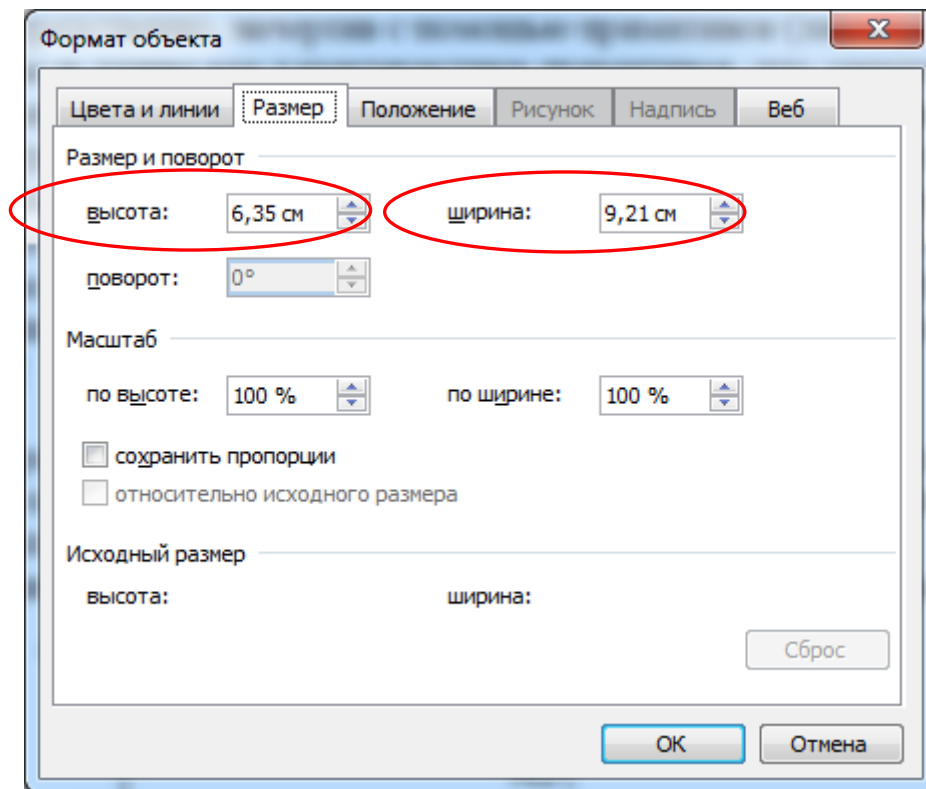
$$\Delta_i = \frac{|L_{зв} - L_{мод}|}{L_{зв}} \cdot 100\%.$$

Среднее арифметическое выборки X из N элементов, вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i.$$

6. Аналогично необходимо построить графически биокинематическую схему непосредственно на изображении в любом графическом растровом редакторе (например: Microsoft Paint, Paint.NET и т.п.) с возможностью определения растровых координат пикселей изображения. Биокинематическую схему растровую или векторную можно построить отдельно от изображения с использованием отдельных графических слоев в специализированных графических редакторах: Adobe Photoshop, Gimp и т.п. Однако наиболее удобно использовать векторные графические пакеты (Corel Draw и т.п.), т.к. в них возможно непосредственно, начертив с помощью примитивов (линий) схему, определять углы и длины как характеристики примитивов, что значительно снижает нагрузку на исследователя за счет автоматизации вычислений на уровне самого графического пакета. Подобные манипуляции по определению длин и углов наклона звеньев можно выполнить и в текстовом редакторе MS Word используя встроенные графические примитивы для черчения схемы непосредственно «сверху» изображения (выбрать линию, щелчок ПКМ (правая

кнопка мышки), «формат автофигуры», закладка размеры → высота и ширина в см.).



Рассмотрим на примере одного звена A1-A2, см. рисунок 1.2, в случае если возможно определить только координаты его концов или только проекций на оси параллельные границам кадра (MS Word).

Необходимо найти длину звена и угол  $\alpha$  наклона к горизонтальной оси Oх.

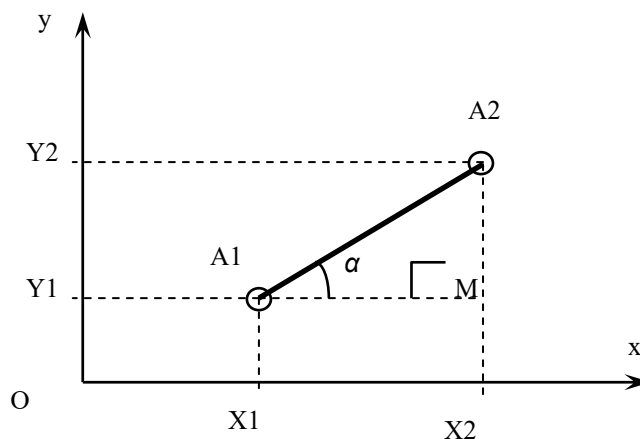


Рисунок 1.2 – Определение геометрических характеристик звена

Координаты точек A1 и A2 считаем известными (определены в графическом редакторе как координаты соответствующих пикселей изображения). Тогда возможно определить проекции звена на оси системы координат (ширина и высота) как разницу соответствующих координат точек, а длина звена по теореме Пифагора (в единицах измерения координат) будет равна:

$$|A1A2| = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}.$$



Угол наклона можно определить, вычислив его тангенс:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}\right).$$

Рассчитав длины звеньев, определив предварительно длину масштабирующего объекта на изображении аналогичным образом, необходимо определить масштабирующий коэффициент и пересчитать длины звеньев в метрах и углы наклона звеньев. Рассчитать погрешность также как в п.5.

Данные и результаты расчета свести в таблицу 1.2, аналогичную таблице 1.1 с названием – Результаты цифровых измерений звеньев тела по 14-ти звенной модели.

Рекомендации. Расчеты по п.4-6 удобно производить с использованием современных табличных редакторов, например MS Excel или его аналога в пакетах Мой Офис, Libre Office и т.п. Следует обратить внимание на то, что встроенная в MS Excel функция ATAN(<аргумент - тангенс угла>) возвращает величину угла в интервале  $(-\pi/2; \pi/2)$ , т.е., полученный с помощью нее, отрицательный острый угол  $-\varphi$  (см. рисунок 1.3) соответствует фактическому тупому углу наклона звена по отношению к положительному направлению оси Ох:  $\alpha = \pi + (-\varphi)$ .

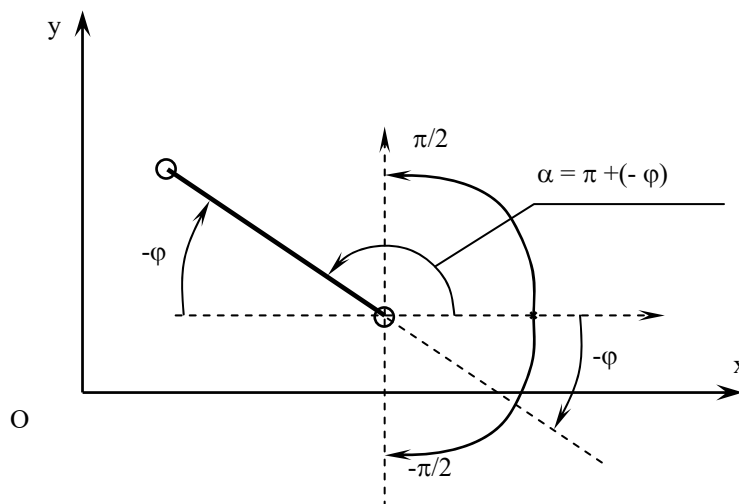


Рисунок 1.3 - К расчету угла наклона звена с помощью встроенной функции MS Excel

Таким образом, для автоматизации расчета необходимо проверять условие отрицательности, возвращаемого функцией результата, например в пакете MS Excel это может выглядеть так: =ЕСЛИ(ATAN(<аргумент - тангенс угла>) < 0; Pi + ATAN(<аргумент - тангенс угла>); ATAN(<аргумент - тангенс угла>)). Если угол отрицателен, проверяемое условие ИСТИНА, то производится его пересчет в тупой угол, а если положительный, проверяемое условие ЛОЖЬ, то возвращается сам угол без пересчета.

7. Оформить отчет по лабораторной работе. Отчет должен включать:

- титульный лист с названием работы и группой и именем студента, выполнившего работу;

- лист с целью работы, исходными данными, кратким описанием хода работы и привлекаемого для выполнения программного обеспечения, пишется в свободной форме, соблюдая очередность пунктов работы;
- лист распечатанного изображения с нанесенными на него узловыми точками;
- лист миллиметровой бумаги с начерченной биокинематической схемой;
- лист с изображением «цифровой» биокинематической схемой;
- лист с таблицей 1;
- лист с таблицей 2;
- лист с заключением, где необходимо привести полученные средние значения погрешностей, дать оценку точности двух методов по отношению к натуральным измерениям, сравнить между собой.

## **Лабораторная работа №2**

### **Определение инерционных характеристик тела человека и отдельных его звеньев**

**Цель работы.** Ознакомиться с экспериментальными методами определения инерционных характеристик тела человека. Научиться определять массу и моменты инерции отдельных звеньев тела человека приближенно, по осредненным данным и по регрессионным уравнениям.

**Исходные данные.** Изображение позы спортсмена в виде цифрового изображения и в распечатанном на бумаге виде, используемые в лабораторной работе №1, а также информация о длине тела и массе исследуемого человека.

#### **Ход выполнения работы.**

**1.** Рассмотреть экспериментальные методы определения инерционных характеристик тел в механике, а также особенности их применения в биомеханике.

**2.** В качестве исходных данных для расчета следует принять результаты натурных измерений длин кинематических звеньев, роста и массы тела спортсмена в лабораторной работе №1. Если, по каким-либо причинам, такая работа не выполнялась, следует повторить ее пункты 1-2 в настоящей лабораторной работе.

Следует подготовить бланк таблицы 2.1, представленный ниже в бумажном и/или электронном варианте. Приветствуется использование для автоматизации расчетов любого табличного прикладного пакета, например MS Excel.

**3.** Произвести расчет массы звеньев тела, опираясь на средние значения соотношения массы звена и массы всего тела в соответствии с рисунком П.1 Приложения. Используя таблицы П.1 и П.2 Приложения, рассчитать массы звеньев тела по регрессионным уравнениям в соответствии с полом спортсмена. Результаты расчетов внести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Расчет массы сегментов тела

Сегменты	Масса сегментов по средним данным		Масса сегментов по регрессионным уравнениям		Разница $m_X - m_{\bar{X}}$ , кг	Разница в % по отношению к $m_X$
	% от массы тела	Масса $m_{\bar{X}}$ , кг	Уравнение	Масса $m_X$ , кг		
Голова (шея)						
Туловище						
Бедро						
Голень						
Стопа						
Плечо						
Предплечье						
Кисть						

4. Рассчитать разницу значения массы звеньев, полученных по регрессионным уравнениям и средним данным, выразить разницу в процентном отношении к массе, полученной по регрессионным уравнениям. Результаты расчетов внести в таблицу 2.1.

5. Рассчитать главные центральные моменты инерции для каждого звена по регрессионным уравнениям, используя таблицы П.1 и П.2 Приложения. Результаты вычисления свести в таблицу 2.2

Таблица 2.2 - Расчет главных центральных моментов инерции

Сегменты	Саггитальная ось		Фронтальная ось		Продольная ось	
	Уравнение	$J_1$ , кг*см <sup>2</sup>	Уравнение	$J_2$ , кг*см <sup>2</sup>	Уравнение	$J_3$ , кг*см <sup>2</sup>
Голова (шея)						
Туловище						
Бедро						
Голень						
Стопа						
Плечо						
Предплечье						
Кисть						

6. Оформить отчет по лабораторной работе. Отчет должен включать:

- титульный лист с названием работы и группой и именем студента, выполнившего работу;
- лист с целью работы, исходными данными, кратким описанием хода работы и привлекаемого для выполнения программного обеспечения, пишется в свободной форме, соблюдая очередность пунктов работы;
- лист с таблицей 2.1;
- лист с таблицей 2.2;

- лист с заключением, где необходимо привести полученные средние значения погрешности, дать оценку точности двух методов определения массы сегментов тела.

## Приложение к лабораторной работе №2

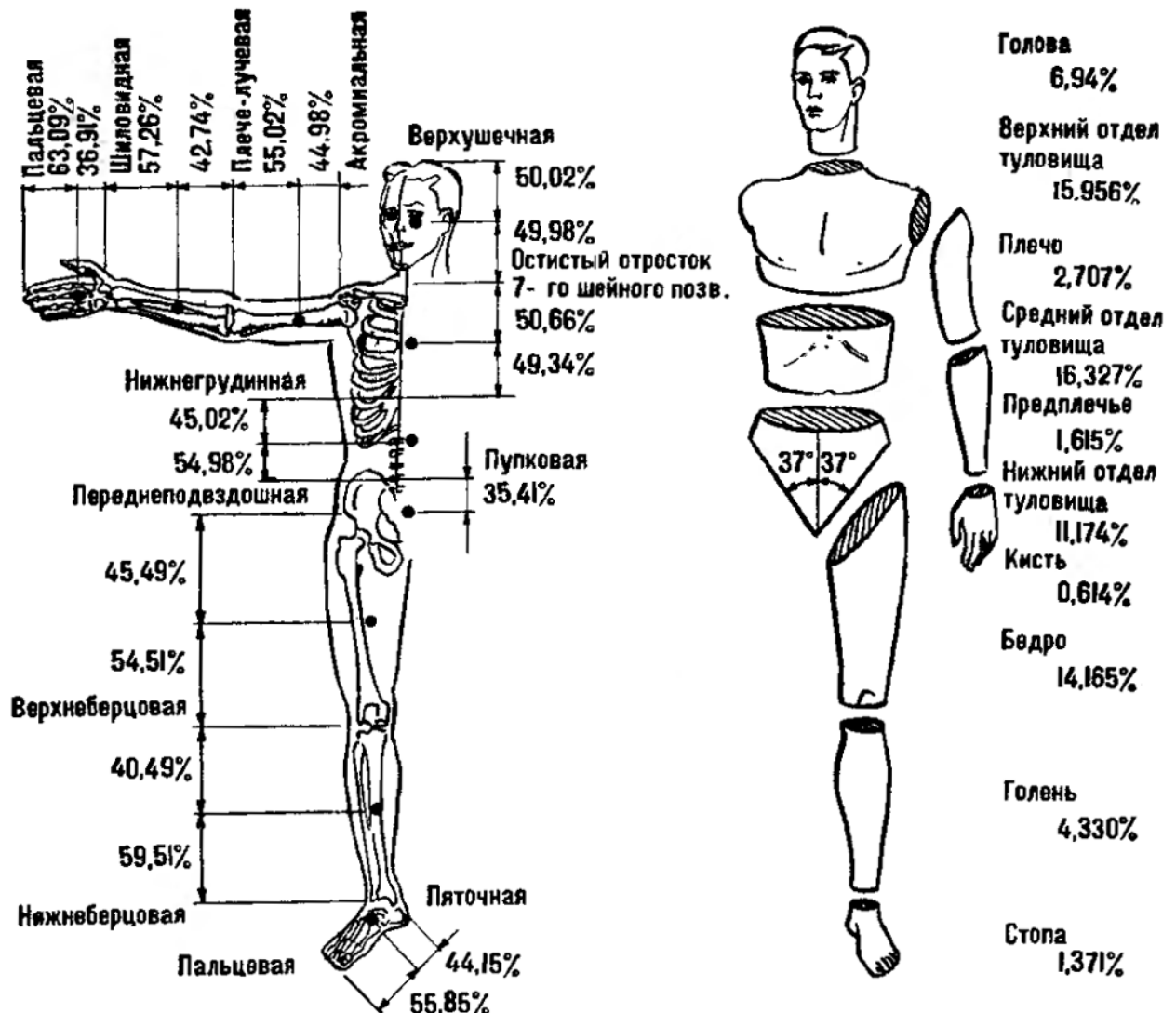


Рисунок П.1 - Один из способов сегментирования тела человека. Слева обозначены антропометрические точки и границы сегментов, приведены координаты положения центров масс сегментов на их продольных осях (в % к длинам сегментов). Справа обозначены средние значения относительной массы сегментов (в % к массе тела). Выборка составила 100 мужчин [Ошибка!]

Источник ссылки не найден.]

Таблица П.1 - Коэффициенты множественной регрессии для вычисления массоинерционных характеристик звеньев тела человека для мужчин

**Коэффициенты уравнений множественной регрессии вида**  
 $y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2$  **для вычисления МИХ сегментов тела мужчин**  
**по весу ( $x_1$ ) и длине ( $x_2$ ) тела**

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$
---------	-------	-------	-------	-----	----------

**Масса сегмента, кг**

Стопа	—0,829	0,0077	0,0073	0,702	0,101
Голень	—1,592	0,0362	0,0121	0,872	0,219
Бедро	—2,649	0,1463	0,0137	0,891	0,721
Кисть	—0,1165	0,0036	0,00175	0,516	0,063
Предплечье	0,3185	0,01445	—0,00114	0,786	0,101
Плечо	0,250	0,03012	—0,0027	0,837	0,178
Голова	1,296	0,0171	0,0143	0,591	0,322
Верхняя часть туловища	8,2144	0,1862	—0,0584	0,798	1,142
Средняя часть туловища	7,181	0,2234	—0,0663	0,828	1,238
Нижняя часть туловища	—7,498	0,0976	0,04896	0,743	1,020

**Положение центра масс на продольной оси сегмента, см**

Стопа	3,767	0,065	0,033	0,530	1,1
Голень	—6,05	—0,039	0,142	0,510	1,25
Бедро	—2,42	0,038	0,135	0,600	1,31
Кисть	4,11	0,026	0,033	0,383	1,12
Предплечье	0,192	—0,028	0,093	0,371	1,14
Плечо	1,67	0,03	0,054	0,368	1,4
Голова	8,357	—0,0025	0,023	0,288	0,69
Верхняя часть туловища	3,32	0,0076	0,047	0,258	1,19
Средняя часть туловища	1,398	0,0058	0,045	0,437	1,18
Нижняя часть туловища	1,182	0,0018	0,0434	0,320	1,0

**Главный центральный момент инерции относительно сагиттальной оси, кг·см<sup>2</sup>**

Стопа	—100	0,480	0,626	0,75	6,8
Голень	—1105	4,59	6,63	0,85	48,6
Бедро	—3557	31,7	18,61	0,84	248
Кисть	—19,5	0,17	0,116	0,50	3,7
Предплечье	—64	0,95	0,34	0,71	10,2
Плечо	—250,7	1,56	1,512	0,62	27,6
Голова	—78	1,171	1,519	0,40	42,5
Верхняя часть туловища	81,2	36,73	—5,97	0,73	297
Средняя часть туловища	618,5	39,8	—12,87	0,81	237
Нижняя часть туловища	—1568	12	7,741	0,69	156

**Главный центральный момент инерции относительно фронтальной оси, кг·см<sup>2</sup>**

Стопа	—97,09	0,414	0,614	0,77	5,77
Голень	—1152	4,594	6,815	0,85	49
Бедро	—3690	32,02	19,24	0,85	244
Кисть	—13,68	0,088	0,092	0,43	2,7

Продолжение

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$
Предплечье	-67,9	0,855	0,376	0,71	9,6
Плечо	-232	1,525	1,343	0,62	26,6
Голова	-112	1,43	1,73	0,49	40
Верхняя часть туловища	367	18,3	-5,73	0,66	171
Средняя часть туловища	263	26,7	-8,0	0,78	175
Нижняя часть туловища	-934	11,8	3,44	0,73	117

Главный центральный момент инерции относительно продольной оси, кг·см<sup>2</sup>

Стопа	-15,48	0,144	0,088	0,55	2,7
Голень	-70,5	1,134	0,3	0,47	22
Бедро	-13,5	11,3	-2,28	0,89	49
Кисть	-6,26	0,0762	0,0347	0,43	1,8
Предплечье	5,66	0,306	-0,088	0,66	2,9
Плечо	-16,9	0,662	0,0435	0,44	12,5
Голова	61,6	1,72	0,0814	0,42	35,6
Верхняя часть туловища	561	36,03	-9,98	0,81	212
Средняя часть туловища	1501	43,14	-19,8	0,87	188
Нижняя часть туловища	-775	14,7	1,685	0,78	116

Таблица П.2 - Коэффициенты множественной регрессии для вычисления массоинерционных характеристик звеньев тела человека для женщин

Уравнения регрессии вида:  $y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2$   
 для оценки МИХ сегментов тела женщин по длине ( $x_2$ )  
 и весу ( $x_1$ ) тела

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$
---------	-------	-------	-------	-----	----------

**Масса сегмента, кг**

Стопа	—1,207	—0,0175	0,0057	0,71	0,11
Голень	—0,436	—0,011	0,0238	0,42	0,36
Бедро	5,185	0,183	—0,042	0,73	0,81
Кисть	—0,116	0,0017	0,0020	0,48	0,03
Предплечье	0,295	0,009	0,0003	0,38	0,11
Плечо	0,206	0,0053	0,0066	0,27	0,21
Голова	2,388	—0,001	0,015	0,24	0,49
Верхний отдел туловища	—16,593	0,140	0,0995	0,64	1,47
Средний отдел туловища	—2,741	0,031	0,056	0,45	1,09
Нижний отдел туловища	—4,908	0,124	0,0272	0,61	0,9

**Положение центра масс на продольной оси сегмента, %**

Стопа	30,25	—0,103	0,20	0,34	3,9
Голень	41,94	—0,102	0,025	0,42	1,0
Бедро	50,90	—0,090	0,0072	0,35	1,2
Кисть	41,74	—0,120	0,172	0,53	1,9
Предплечье	61,40	0,096	—0,062	0,36	1,4
Плечо	44,96	0,034	0,051	0,36	1,2
Голова	21,50	0,181	—0,085	0,38	3,2
Верхний отдел туловища	34,50	0,012	0,084	0,24	2,7
Средний отдел туловища	36,68	0,025	0,037	0,17	2,0
Нижний отдел туловища	26,10	—0,020	0,056	0,23	1,7

**Длина сегмента, см**

Стопа	1,60	—0,035	0,139	0,67	1,1
Голень	—1,81	—0,182	0,304	0,70	2,2
Бедро	—5,09	0,232	0,233	0,72	2,4
Кисть	8,78	—0,012	0,055	0,37	1,0
Предплечье	—14,54	—0,220	0,305	0,78	1,7
Плечо	—7,99	—0,239	0,279	0,68	2,1
Голова	12,96	—0,191	0,138	0,64	1,4
Верхний отдел туловища	—17,17	0,105	0,191	0,56	2,5
Средний отдел туловища	9,86	—0,180	0,121	0,38	2,5
Нижний отдел туловища	0,10	0,124	0,098	0,48	2,1

**Центральный момент инерции относительно сагиттальной оси, кг·см<sup>2</sup>**

Стопа	—92,24	0,486	0,558	0,60	7,6
Голень	—963,1	—3,57	9,04	0,71	63,8
Бедро	—4033,4	44,99	17,08	0,83	205,9
Кисть	—5,71	0,122	0,035	0,44	1,47
Предплечье	—132,1	0,620	0,825	0,73	7,58
Плечо	—151,4	0,107	1,554	0,25	45,3

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$R$	$\sigma$
Голова	217,8	-0,032	0,059	0,008	53,5
Верхний отдел туловища	-4038,5	28,6	20,0	0,71	249,5
Средний отдел туловища	-368,7	-6,22	8,86	0,24	245,8
Нижний отдел туловища	-987,6	14,90	3,76	0,58	129,5

Главный центральный момент инерции относительно фронтальной оси,  $\text{кг} \cdot \text{см}^2$

Стопа	-61,4	0,348	0,406	0,72	4,0
Голень	-943,3	-2,51	8,47	0,70	62,2
Бедро	-2659,4	50,35	6,96	0,75	252,0
Кисть	-5,79	0,087	0,034	0,47	1,1
Предплечье	-138,5	0,533	0,887	0,72	7,9
Плечо	-330,4	-0,461	2,67	0,61	25,6
Голова	66,4	-0,447	1,29	0,18	49,1
Верхний отдел туловища	-2075,0	15,6	9,4	0,66	147,2
Средний отдел туловища	-546,0	2,87	5,1	0,36	125,0
Нижний отдел туловища	-633,3	10,8	2,26	0,64	78,8

Главный центральный момент инерции относительно продольной осн,  $\text{кг} \cdot \text{см}^2$

Стопа	23,90	0,337	-0,059	0,56	2,3
Голень	-53,2	0,284	0,489	0,33	12,7
Бедро	1339,8	6,30	-8,28	0,53	94,4
Кисть	-2,138	0,053	0,0073	0,39	0,7
Предплечье	7,4	0,21	-0,080	0,61	1,3
Плечо	-118,6	1,19	0,44	0,83	5,3
Голова	-35,48	2,43	0,237	0,41	29,9
Верхний отдел туловища	-2823,2	25,8	12,8	0,77	163,2
Средний отдел туловища	-672,9	1,47	7,53	0,28	211,6
Нижний отдел туловища	-715,9	23,5	-1,106	0,64	140,0



### Лабораторная работа №3

#### Определение положения общего центра массы тела графическим и цифровым способом. Оценка статической устойчивости позы.

**Цель работы.** Ознакомиться с базовыми методами определения положения ЦМ тела человека и условия устойчивости статического положения.

**Исходные данные.** Изображение позы спортсмена в виде цифрового изображения и в распечатанном на бумаге виде, используемые в лабораторной работе №1, а также информация о длине тела и массе исследуемого человека.

#### **Ход выполнения работы.**

1. Для удобства выполнения данной работы необходимо подготовить бланк таблицы 3.1 и отдельные графы заполнить результатами выполнения предыдущих лабораторных работ.

Коэффициент  $K_i$  принять в соответствии со схемой на рисунке П.1 Приложения к ЛР№2. Абсолютную массу звеньев тела принять как результаты расчета по относительным усредненным величинам, см. ЛР№2.

Таблица 3.1 - Исходные данные для определения ОЦМ спортсмена

Название звена	Абсолютная масса звена $M_{абс}, (кг)$	Длина звеньев $L_{зв}, (м)$	Коэффициент отстояния ЦМ звена от его проксимального эпифиза $K_i$	Отстояние ЦМ звена от его проксимального эпифиза $L_i, (м)$
Голова		—	—	—
Туловище				
Правое плечо				
Левое плечо				
Правое предплечье				
Левое предплечье				
Правая кисть			—	—
Левая кисть			—	—
Правое бедро				
Левое бедро				
Правая голень				
Левая голень				
Правая стопа				
Левая стопа				
Все тело		—	—	—

2. Вычислить расстояние от проксимального эпифиза каждого звена до его центра масс (ЦМ) по формуле:

$$L_i = L_{зв} \cdot K_i,$$

где:  $L_{зг}$  - длина звена;

$K_i$  - коэффициент, определяющий относительное расстояние ЦМ звена от его проксимального эпифиза.

3. На биокинематической схеме статической позы спортсмена, которая была построена в лабораторной работе №1, используя данные таблицы 3.1. отметить положения ЦМ звеньев крестиками.

**Центр массы звена** - это воображаемая точка, к которой приложена равнодействующая сил тяжести всех частиц звена.

Следует учитывать что:

ЦМ кисти в расслабленном состоянии лежит в области пястно-фалангового сустава среднего пальца. ЦМ кисти в сжатом состоянии – в центре кулака.

ЦМ головы находится на мысленном пересечении взаимно перпендикулярных линий, проведенных через слуховые отверстия и через переносицу (в области турецкого седла). Для построения на биокинематической схеме ЦМ головы следует измерить расстояние от слухового отверстия до ключичной впадины и полученное расстояние отложить на схеме в соответствии с масштабом.

4. Для определения центра массы стопы необходимо:

а) высоту стопы  $h_{ст}$  разделить на три равные части, и через треть ближнюю к подошве стопы провести линию параллельную подошве стопы (рисунок 3.1).

б) на подошве стопы отложить от точки пяточного бугра расстояние до ЦМ стопы (величину этого расстояния следует взять из последнего столбца таблицы 3.1. для стоп). Через полученную точку провести перпендикуляр к линии стопы.

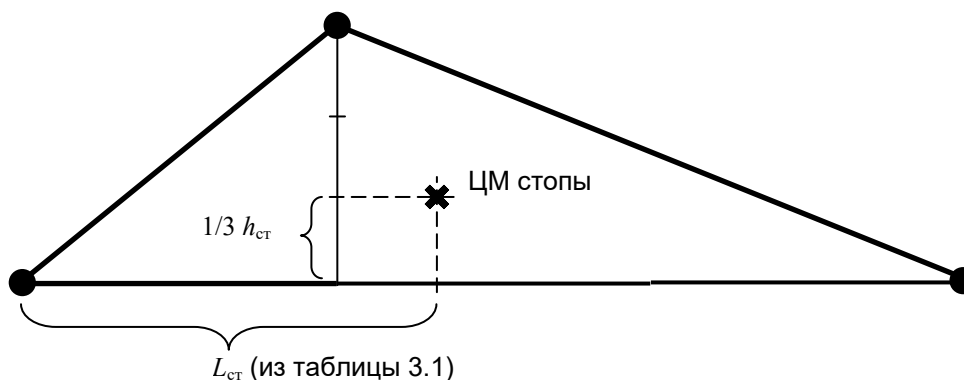


Рисунок 3.1 - Схема определения ЦМ стопы

Точка пересечения линий построенных в соответствии с пунктами а) и б) является ЦМ стопы.

5. Отметить на биокинематической схеме около центра масс каждого звена его относительную массу в % (при этом значок % ПИСАТЬ НЕ СЛЕДУЕТ). Можно поставить и абсолютные значения масс звеньев в кг, но для определения общего центра масс достаточно знать лишь соотношения масс, и поэтому для простоты вычислений достаточно использовать процентные соотношения масс звеньев тела.

6. Определить положение общего центра масс тела спортсмена (точка приложения равнодействующей сил тяжести всех точек тела), используя метод нахождения ОЦМ двух тел (рисунок 3.2) по формуле:

$$L_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} L$$

или

$$L_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} L$$

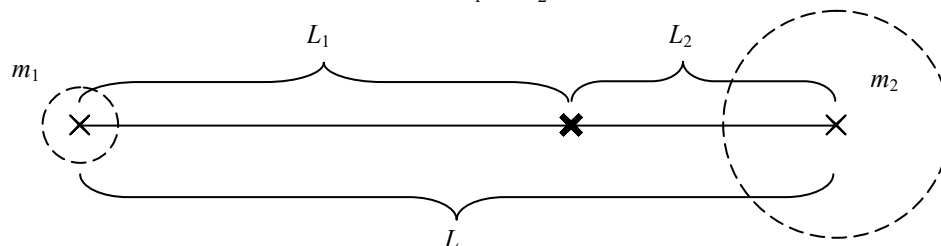


Рисунок 3.2 - Схема расчета ЦМ системы двух тел

Маленькими крестиками на рисунке обозначены центры масс тел с массой  $m_1$  и  $m_2$ , а большим крестиком – общий центр масс этих обоих тел. ОЦМ двух тел лежит на линии, соединяющей ЦМ двух тел.

Для определения точки ОЦМ тела необходимо:

- а) найти общий ЦМ кисти и предплечья;
- б) зная общий ЦМ кисти+предплечья и ЦМ плеча, найти ЦМ всей руки;
- в) аналогично найти ЦМ другой руки;
- г) зная ЦМ каждой руки, найти общий ЦМ рук;
- д) аналогично нахождению ЦМ рук, определить ЦМ ног, начиная со стопы+голень;
- е) зная положение ЦМ рук и ЦМ ног, определить ЦМ конечностей (руки+ноги);
- ё) определить общий ЦМ туловища и головы;
- ж) зная общий ЦМ туловища+голова и общий ЦМ конечностей, определить положение ОЦМ всего тела спортсмена.

Положения искомых ЦМ на биокинематической схеме следует обозначать крестиками, в отличие от положения центров суставов, которые принято обозначать точками.

Положение ОЦМ тела зависит от его позы. Поэтому при последовательном нахождении центров масс двух звеньев тела можно брать любые пары, учитывая парные конечности.

7. Отметить на чертеже ОЦМ тела спортсмена найденный графическим методом.

8. Для определения ОЦМ цифровым (аналитическим) способом необходимо на биокинематической схеме статической позы спортсмена в цифровой форме, которая была выполнена в предыдущих лабораторных работах, провести оси координат, см. рисунок 3.3 Ось абсцисс (горизонтальную ось  $x$ ) следует проводить по линии опоры. Ось ординат (вертикальную ось  $y$ ) следует проводить вертикально в плоскости кадра, желательно слева от крайней точки

изображения спортсмена, в качестве начало отсчета может быть принята некоторая особенная точка внешнего окружения, значимая для анализа, например крайняя точка опорной платформы, и т.п.

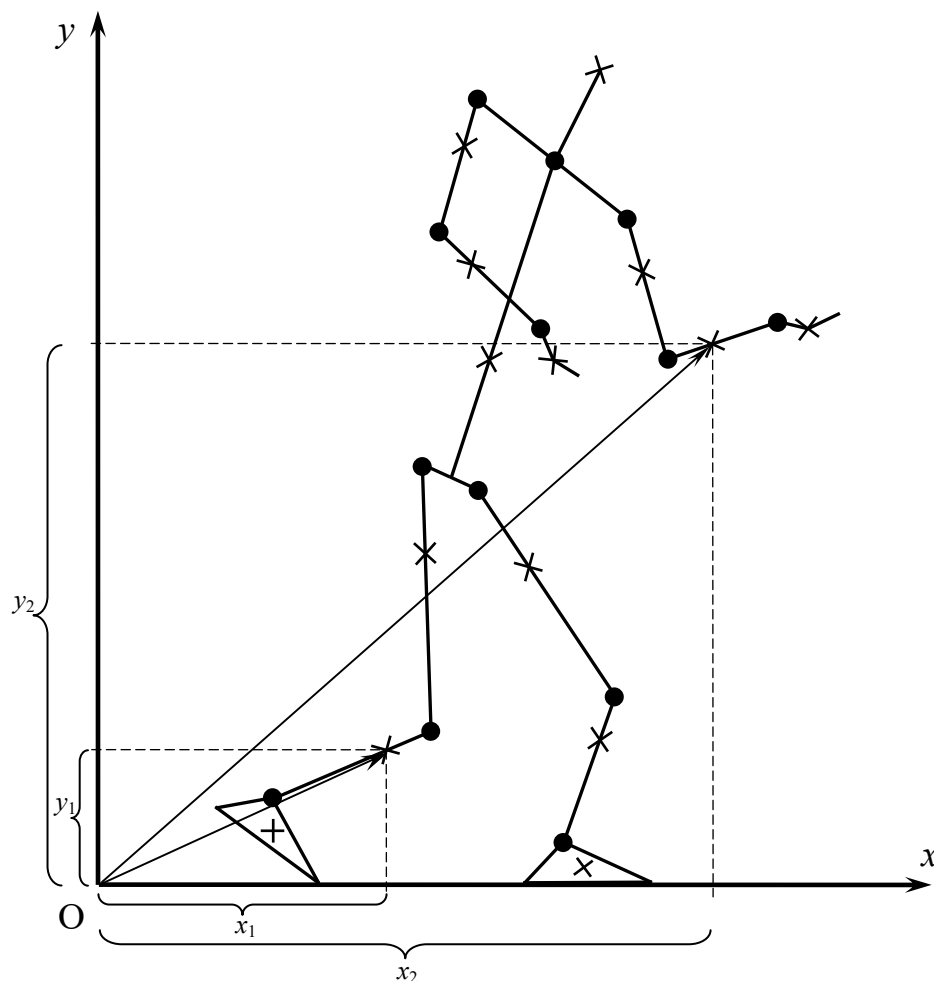


Рисунок 3.3 - Схема определения координат центров масс звеньев тела спортсмена на биокинематической схеме, для примера приведены координаты голени ( $x_1, y_1$ ) и предплечья ( $x_2, y_2$ )

9. Измерить горизонтальную ( $x_i$ ) и вертикальную ( $y_i$ ) координаты ЦМ всех звеньев, используя приемы определения координат и длин отрезков рассмотренные в ЛР№1. В качестве координат при выполнении анализа в пакете Word следует принять высоту ( $y$ ) и длину ( $x$ ) соответствующего радиус-вектора ЦМ звена, см. рисунок 3.3. Значения занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.2 - Координат ОЦМ звеньев тела спортсмена

Название звеньев	Абсолютная масса $i$ -го звена $m_i$ , (кг)	Координаты ЦМ $i$ -го звена		Статический момент $i$ -го звена	
		$x_i$ (м)	$y_i$ (м)	$S_{xi}=m_i \cdot x_i$ (кг·м)	$S_{yi}=m_i \cdot y_i$ (кг·м)
Голова					
Туловище					
Правое плечо					

Левое плечо					
Правое предплечье					
Левое предплечье					
Правая кисть					
Левая кисть					
Правое бедро					
Левое бедро					
Правая голень					
Левая голень					
Правая стопа					
Левая стопа					
Все тело	$\sum m_i =$			$\sum m_i \cdot x_i =$	$\sum m_i \cdot y_i =$

**10.** Вычислить значения горизонтальных и вертикальных статических моментов, относительно осей  $x$  и  $y$ , по формулам:

$$S_{xi} = m_i \cdot x_i;$$

$$S_{yi} = m_i \cdot y_i,$$

где  $m_i$  – абсолютная масса  $i$ -го звена,

$x_i$  – абсцисса ЦМ  $i$ -го звена (расстояние от ЦМ звена до вертикальной оси);

$y_i$  – ордината ЦМ  $i$ -го звена (расстояние от ЦТ до горизонтальной оси).

**11.** Найти сумму горизонтальных и вертикальных статических моментов масс звеньев, ( $S_x = \sum m_i \cdot x_i$ ;  $S_y = \sum m_i \cdot y_i$ ).

**12.** Вычислить горизонтальную и вертикальную координаты ОЦМ тела спортсмена по формулам:

$$x = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}; \quad y = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{\sum m_i};$$

где:  $m_i$  – абсолютная масса  $i$ -го звена,

$x_i$  – абсцисса ЦМ  $i$ -го звена (расстояние от ЦМ звена до вертикальной оси);

$y_i$  – ордината ЦМ  $i$ -го звена (расстояние от ЦТ до горизонтальной оси).

$x, y$  – координаты ОЦМ, полученные аналитически.

**13.** Отметить положение ОЦМ по полученным координатам на биокинематической схеме статической позы спортсмена.

**14.** Определить координаты ОЦМ, найденные графическим способом ( $x_{гр}, y_{гр}$ ) в данной системе координат и вычислить абсолютную и относительную погрешность графического способа определения ОЦМ тела спортсмена по отношению к аналитическому по формулам:

$$\Delta x_{абс} = x_{гр.} - x_{ан.}; \quad \Delta y_{абс} = y_{гр.} - y_{ан.};$$

$$\Delta x_{отн.} = \frac{\Delta x_{абс}}{x_{ан.}} \cdot 100\%; \quad \Delta y_{отн.} = \frac{\Delta y_{абс}}{y_{анал.}} \cdot 100\%.$$

**15.** Сделать выводы о точности нахождения ОЦМ тела спортсмена, кратко охарактеризовать достоинства и недостатки двух методов.

16. Определить длину опоры  $D$  по горизонтальной оси  $x$ , как расстояние между крайними точками опоры (рисунок 3.4). Соединить ОЦМ тела спортсмена найденный аналитическим методом с краями площади опоры – крайними точками опоры – и опустить перпендикуляр из ОЦМ на опору. Измерить длину левого плеча опоры ( $d_1$ ) и правого плеча опоры ( $d_2$ ), высоту расположения ОЦМ над линией опоры ( $h$ ). Полученные результаты занести в таблицу 3.3.

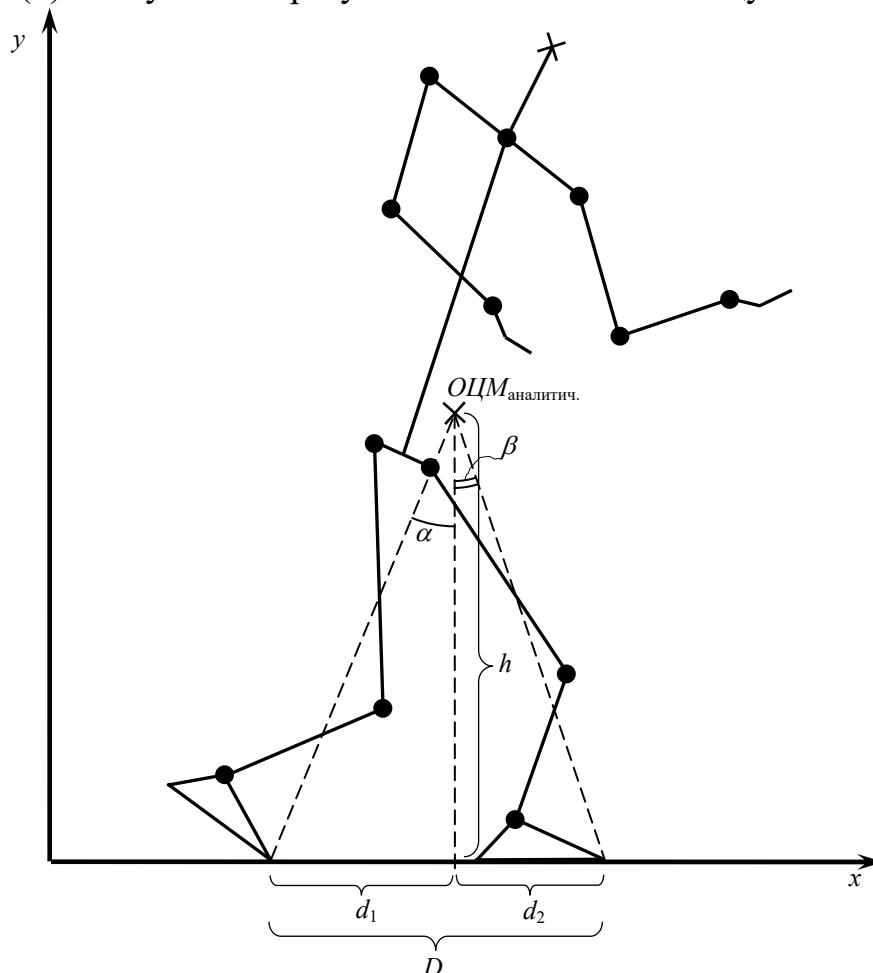


Рисунок 3.4 - Схема определения плечей опоры

Таблица 3.3 - Показатели устойчивости тела спортсмена

Высота ОЦМ над опорой $h$ , (м)	Длина опоры, $D$ , (м)	Плечи опоры		Углы устойчивости, градусы		Коэффициенты устойчивости		Оценка устойчивости
		$d_1$ , (м)	$d_2$ , (м)	$\alpha$ , (°)	$\beta$ , (°)	вправо $k_1$	влево $k_2$	

17. Оценить устойчивость положения тела спортсмена по углам устойчивости  $\alpha$  и  $\beta$ . Они образованы линией действия силы тяжести – перпендикуляр к опоре – и линией, соединяющей ОЦМ с краем площади опоры. Это граничный угол, на который можно повернуть тело до сохранения его

положения (в ограничено-устойчивом равновесии). Если угол устойчивости менее  $5^\circ$ , то положение принято считать неустойчивым. При угле устойчивости более  $5^\circ$  тело находится в ограниченно устойчивом равновесии. При положении ОЦМ ниже площади опоры тело будет находиться в устойчивом равновесии.

**18.** Рассчитать коэффициенты устойчивости для левой и правой частей по формулам:

$$k_1 = \frac{d_1}{h};$$

$$k_2 = \frac{d_2}{h}.$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты устойчивости;

$d_1, d_2$  – длины плеч опоры (вправо и влево), в м;

$h$  – высота ОЦМ над линией опоры, м.

Полученные результаты занести в таблицу 3.3.

Коэффициент устойчивости характеризует способность тела своей силой тяжести сопротивляться опрокидыванию в данных условиях. Когда коэффициент устойчивости больше единицы, тело не опрокинуть.

**19.** Сделать выводы по оценке устойчивости тела спортсмена на основании полученных данных.

## Лабораторная работа №4

### Определение кинематических характеристик движения звеньев тела человека по фото- киноматериалам.

**Цель:** Научиться определять угловую скорость звеньев тела человека при выполнении спортивных упражнений.

**Задачи:** Определить угловую скорость звеньев тела человека при выполнении гимнастических упражнений:

- 1) большой оборот назад на перекладине.
- 2) большой оборот вперед на перекладине.

**Исходные данные.** Варианты исходных данных в виде обобщенных координат звеньев тела в различных вариантах исполнения упражнения приведены в Приложении к ЛРН№4 в конце работы (по материалам исследований Лавшука Д.А., 2002). Вариант следует выбрать в соответствии со своим номером в списке группы.

**Ход выполнения работы.**

#### Теоретические положения

Первая и вторая производная от обобщенных координат (углы наклона звеньев биомеханической системы к оси  $Ox$ ) по времени, заданных в табличном виде, определяются из симметричных конечно-разностных отношений:

$$\dot{\varphi}_i = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}}{2h}, \quad \ddot{\varphi}_i = \frac{\varphi_{i-1} - 2\varphi_i + \varphi_{i+1}}{h^2},$$

где  $\dot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_i$  – приближенные значения первой и второй производной от обобщенных координат  $\varphi_i$  по времени в момент времени  $t = t_i$ ,  $i$  – номер кадра,  $h$  – интервал

времени между двумя ближайшими кадрами, приблизительно определяемый как  $h = 1/k$ ,  $k$  - частота кино/видеосъемки (кадр/с).

Учитывая, что в механике угловая скорость измеряется в рад/с, формулы для определения угловой скорости и ускорения звеньев тела на основании равенств (1) примут вид:

$$\dot{\varphi}_i = \frac{\pi(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})}{360h}, \quad \ddot{\varphi}_i = \frac{\pi(\varphi_{i-1} - 2\varphi_i + \varphi_{i+1})}{180h^2}.$$

Кинетограмма второй половины большого оборота назад на перекладине показана на рисунке 4.1.

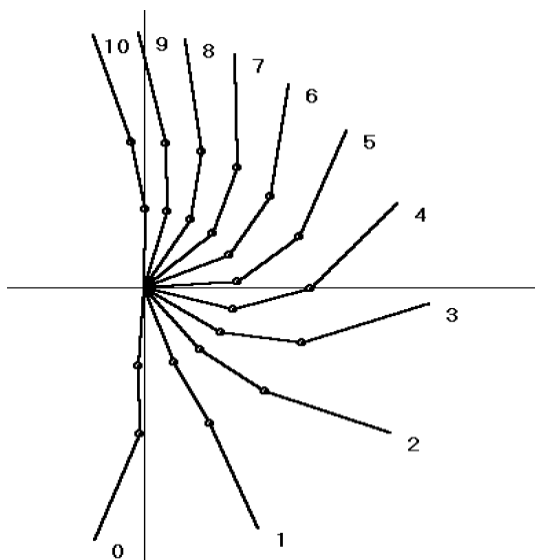


Рисунок 4.1 - Кинетограмма второй половины большого оборота назад на перекладине

**1.** Для вычисления угловой скорости звеньев тела при выполнении любого спортивного упражнения необходимо знать значения обобщенных координат биомеханической системы на всей траектории движения. Для этого по выполненному промеру, транспортиром определяют угол наклона звеньев биомеханической системы к оси  $Ox$  для каждого кинокадра упражнения и измеренные значения обобщенных координат заносят в таблицу. Определение обобщенных координат биосистемы для исследуемого упражнения выполняется следующим образом.

Допустим, для первого кинокадра выполняемого упражнения (рисунок 4.2, Б) построена кинетограмма (рисунок 4.2, А).



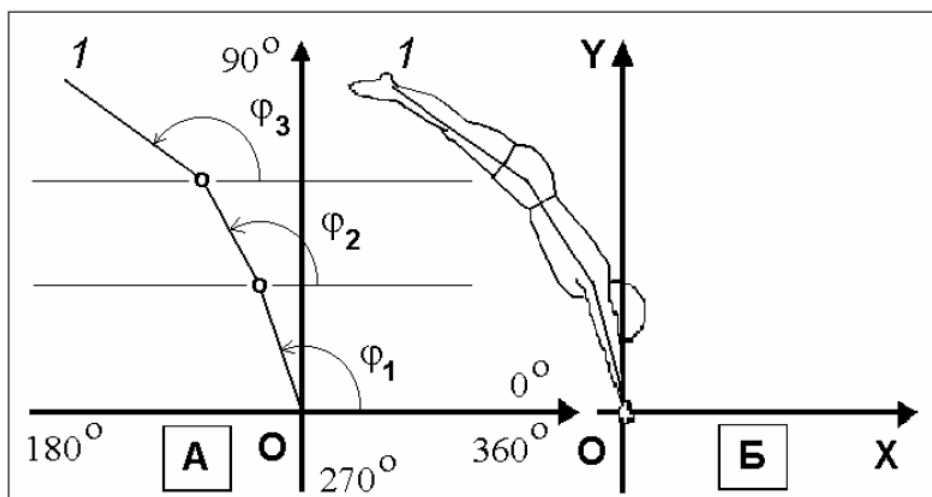


Рисунок 4.2 -Схема определения обобщенных координат в первом кинокадре кинетограммы по материалам съемки

Для определения угла наклона звеньев биомеханической системы к оси Ох необходимо от каждого сустава провести влево и вправо линии, параллельные оси Ох. Направление угла отсчитывается от положительной области числовой оси Ох против хода часовой стрелки. Величина угла изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , а также может изменяться в диапазоне  $360-720^\circ$  и т.д. Величина угла наклона звена к оси Ох измеряется транспортиром и записывается в таблицу обобщенных координат, в которой колонки обозначают номер звена, а строки – номер кинокадра.

2. Подготовить таблицу обобщенных координат для трехзвенной биомеханической системы (таблица 4.1) с графами для промежуточных вычислений разностей обобщенных координат.

Таблица 4.1 - Таблица обобщенных координат трехзвенной биомеханической системы на всей траектории движения

1	2	3	4	5	6	7
№ кинокадра	$\varphi_{i,1}$	$\varphi_{i,2}$	$\varphi_{i,3}$	$\varphi_{i+1,1} - \varphi_{i-1,1}$	$\varphi_{i+1,2} - \varphi_{i-1,2}$	$\varphi_{i+1,3} - \varphi_{i-1,3}$
1	365					
2	378			$394 - 365 = 29$		
3	394			$419 - 378 = 41$		
4	419			$428 - 394 = 34$		
5	428			$435 - 419 = 16$		
6	435					

Для каждого номера кинокадра вписать в таблицу значения обобщенных координат для первого звена -  $\varphi_1$ , для второго звена -  $\varphi_2$  и для третьего звена -  $\varphi_3$ .

3. В колонках 5, 6 и 7 рассчитать и записать соответствующие разности обобщенных координат для первого, второго и третьего звена по кинокадрам, где  $i$  - номер кинокадра.

4. Подготовить таблицу 4.2, в ячейки которой будут заноситься вычисленные значения угловой скорости звеньев тела.

В соответствии с уравнениями, см. теоретические положения выше, каждую строчку колонок 5, 6 и 7 таблицы 4.1 необходимо умножить на число  $\pi$  и разделить на  $360 \cdot h$ .

Полученный результат необходимо вписать в соответствующую строчку колонки 2, 3 или 4 таблицы 4.2. Это и есть угловая скорость звеньев тела.

Таблица 4.2 - Угловые скорости звеньев тела

№ кинокадра	$\dot{\phi}_1$	$\dot{\phi}_2$	$\dot{\phi}_3$
1			
2			
3			
4			
5			

5. Аналогично необходимо выполнить расчет для второй части, при выполнении большого оборота вперед на перекладине, при решении задачи 1) и 2) следует принять временной интервал между кадрами ( $h$ ) равный 0,08с.

### Приложение к ЛР№4 Большой оборот назад на перекладине

Вариант 1				Вариант 2			
№ кадра	Обобщенные координаты			№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	461,2	465,0	473,4	1	462,8	466,1	471,7
2	473,7	477,8	486,2	2	476,7	477,7	482,3
3	487,0	492,5	501,2	3	491,5	492,3	495,4
4	500,9	508,0	518,1	4	508,2	510,5	511,2
5	516,2	523,9	535,0	5	528,0	532,4	528,6
6	533,9	540,1	549,4	6	551,4	556,7	545,9
7	554,1	557,9	560,0	7	577,4	581,5	562,4
8	576,3	578,0	568,9	8	603,8	605,8	579,5
9	599,7	600,6	580,1	9	628,1	629,6	601,5
10	623,6	624,9	597,7	10	649,3	653,4	636,2
11	646,3	650,1	625,3	11	667,8	677,5	683,4
12	665,7	675,7	664,1	12	684,8	702,5	728,8
13	681,5	702,3	706,3	13	702,3	728,1	759,8
14	696,4	729,3	740,2	14	721,7	752,5	779,1
15	713,7	754,5	762,2	15	742,8	773,2	792,6
16	735,0	774,5	776,9	16	763,9	788,6	802,7
17	757,9	788,1	788,5	17	783,3	799,5	810,8
18	778,6	797,2	798,6	18	800,2	807,3	817,7
19	795,0	804,6	808,1	19	815,7	813,9	824,4

Вариант 4

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	443,5	450,4	453,7
2	452,6	458,4	460,9
3	461,8	467,4	468,7
4	471,5	477,2	477,4
5	482,1	488,0	487,1
6	493,8	500,0	497,8
7	507,2	513,1	509,1
8	522,6	527,5	520,6
9	540,2	543,2	532,2
10	559,7	560,1	544,1
11	580,1	578,6	557,0
12	600,5	598,7	572,5
13	619,9	620,4	593,7
14	638,3	643,2	626,5
15	655,7	666,7	669,8
16	673,0	690,5	710,7
17	690,7	713,7	738,3
18	709,2	735,1	754,8
19	728,2	753,2	765,9
20	746,4	767,7	774,1
21	762,7	778,8	780,8
22	776,6	787,4	786,8
23	788,3	794,6	792,8
24	798,5	801,1	798,9
25	807,8	807,5	804,9

Вариант 3

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	455,9	461,2	467,2
2	469,7	471,6	476,7
3	483,9	484,5	488,5
4	499,5	500,9	503,0
5	517,6	521,1	519,8
6	539,2	544,4	537,3
7	564,2	569,1	554,2
8	590,7	593,7	570,7
9	616,3	617,8	589,5
10	639,1	641,5	616,8
11	658,8	665,4	659,0
12	676,4	689,9	707,3
13	693,4	715,3	746,2
14	711,7	740,7	770,5
15	732,1	763,4	786,4
16	753,5	781,5	798,0
17	773,9	794,6	806,9
18	792,1	803,7	814,3
19	807,9	810,6	821,0

Вариант 6

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	93,1	90,2	94,8
2	100,4	97,7	103,2
3	107,8	105,7	113,0
4	116,1	114,8	124,0
5	125,5	125,6	136,1
6	136,2	138,1	149,1
7	148,7	152,0	162,9
8	163,6	167,1	177,2
9	180,8	183,6	190,8
10	199,9	202,0	203,0
11	220,3	222,5	215,0
12	242,0	244,5	230,0
13	264,1	267,2	253,3
14	284,8	290,8	288,7
15	303,2	316,1	331,3
16	320,3	342,6	370,0
17	337,9	368,2	397,8
18	356,5	390,2	415,6
19	375,5	406,6	426,4
20	393,7	417,6	432,9
21	409,8	425,0	437,5
22	423,2	431,0	441,8
23	434,1	437,0	446,5
24	443,3	443,6	451,7
25	451,2	450,6	457,0

Вариант 5

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	86,6	92,0	94,9
2	95,3	100,8	102,3
3	104,4	110,2	110,5
4	114,2	120,2	119,9
5	124,8	130,8	130,6
6	136,3	142,1	142,4
7	148,5	153,7	155,2
8	161,3	165,7	168,6
9	175,3	178,7	182,3
10	191,7	194,1	196,1
11	211,7	213,9	210,2
12	235,3	238,3	226,0
13	259,6	264,9	246,3
14	281,7	290,3	276,4
15	300,8	313,7	315,9
16	318,0	336,3	354,4
17	335,0	358,5	382,3
18	352,6	379,2	400,2
19	370,7	397,1	412,8
20	388,2	411,4	422,4
21	404,0	422,6	430,2
22	417,4	431,5	437,1
23	428,8	439,2	443,7
24	438,8	446,6	450,3
25	448,1	454,3	457,2

**Вариант 7**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	86,3	93,5	99,8
2	98,1	103,1	110,2
3	110,1	114,7	122,3
4	122,6	128,2	136,5
5	135,7	143,0	152,7
6	149,8	158,4	169,3
7	166,4	174,4	184,3
8	186,0	191,6	196,3
9	208,1	210,8	205,9
10	231,7	232,7	216,3
11	255,9	256,7	231,6
12	279,2	281,9	255,3
13	299,6	307,4	289,5
14	316,2	333,2	330,4
15	331,3	359,8	367,4
16	347,8	386,1	393,3
17	367,4	408,7	410,4
18	389,2	425,1	423,8
19	410,2	435,8	435,6
20	427,9	443,3	446,6
21	442,4	450,6	457,1

**Вариант 8**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	92,2	98,0	104,9
2	104,0	108,6	116,0
3	116,3	121,2	129,1
4	129,1	135,4	144,4
5	142,5	150,6	161,0
6	157,7	166,3	177,1
7	175,8	182,8	190,7
8	196,8	200,9	201,2
9	219,7	221,4	210,7
10	243,8	244,5	223,1
11	267,8	269,3	242,2
12	289,9	294,7	271,1
13	308,3	320,2	309,8
14	323,8	346,4	350,0
15	339,2	373,1	381,7
16	357,2	398,0	402,6
17	378,2	417,7	417,4
18	400,0	431,0	429,8
19	419,5	439,7	441,2
20	435,5	446,8	451,9
21	448,8	454,8	462,3

**Вариант 10**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	461,3	466,8	468,3
2	470,2	476,5	478,4
3	480,4	486,6	489,4
4	492,3	497,7	501,0
5	506,6	510,1	512,2
6	522,8	524,4	522,6
7	540,5	540,8	532,2
8	559,2	559,5	542,2
9	579,2	580,2	555,1
10	600,6	602,5	574,0
11	622,2	625,9	600,5
12	642,4	650,3	633,8
13	660,3	675,2	670,3
14	676,4	700,5	704,3
15	692,3	725,4	731,3
16	709,7	748,4	750,3
17	729,4	766,9	763,4
18	749,5	779,7	773,6
19	767,0	788,2	782,7
20	780,4	794,6	791,2
21	790,7	800,8	799,2
22	799,3	807,7	807,1
23	807,1	815,7	815,1
24	814,9	824,5	823,2

**Вариант 9**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	83,4	91,5	99,4
2	96,7	100,3	106,5
3	109,6	111,4	115,3
4	122,6	124,6	126,6
5	136,1	139,4	140,5
6	150,6	155,4	156,5
7	166,8	172,5	173,0
8	185,0	191,0	188,5
9	205,2	211,0	202,5
10	227,3	232,5	216,5
11	250,9	254,9	233,3
12	274,1	277,9	257,6
13	295,1	301,8	294,1
14	313,2	326,6	337,5
15	329,8	352,2	376,0
16	347,0	377,3	402,8
17	366,2	400,0	421,2
18	387,0	418,7	434,3
19	407,3	432,9	444,0
20	425,6	443,5	451,9
21	441,5	452,3	459,2

## Большой оборот вперед на перекладине

Вариант 1				Вариант 2			
№ кадра	Обобщенные координаты			№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	469,7	457,0	455,0	1	449,8	399,8	388,2
2	478,6	468,2	466,4	2	462,1	417,0	410,8
3	489,5	479,5	477,6	3	471,1	436,0	431,7
4	502,5	491,7	488,9	4	478,6	454,5	450,8
5	517,5	505,0	500,7	5	485,8	471,5	468,4
6	534,1	519,6	514,1	6	494,5	487,4	484,8
7	551,5	536,4	530,6	7	506,5	503,0	500,1
8	569,1	555,5	552,3	8	522,5	518,5	514,4
9	586,7	576,5	580,8	9	540,9	534,3	529,5
10	604,6	598,9	613,7	10	559,7	551,4	548,1
11	623,9	622,6	643,3	11	578,4	570,9	573,0
12	645,8	646,6	662,1	12	597,8	593,0	604,0
13	670,6	669,1	670,0	13	618,4	617,0	635,9
14	696,4	688,3	672,8	14	640,4	641,9	660,6
15	721,6	703,5	677,6	15	664,7	666,0	672,6
16	745,3	715,4	688,3	16	691,3	688,0	674,3
17	766,3	726,2	704,6	17	719,0	707,2	675,0
18	783,1	738,0	723,5	18	746,7	723,6	682,9
19	795,8	751,4	742,1	19	773,1	737,7	700,3
20	805,2	765,9	759,2	20	795,2	751,7	724,5
21	812,1	780,4	774,7	21	811,2	768,4	752,0
22	817,6	794,1	789,1	22	821,7	788,3	780,0

Вариант 3				Вариант 4			
№ кадра	Обобщенные координаты			№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	456,4	408,1	399,7	1	461,9	457,5	452,5
2	466,9	426,4	421,5	2	467,5	463,7	460,9
3	475,0	445,4	441,5	3	474,7	470,8	470,2
4	482,1	463,2	459,8	4	483,6	478,9	480,4
5	489,9	479,5	476,8	5	494,4	488,1	491,1
6	500,0	495,2	492,6	6	507,0	498,8	501,5
7	514,0	510,7	507,3	7	521,2	511,2	512,0
8	531,5	526,3	521,7	8	537,2	525,2	523,5
9	550,3	542,6	538,1	9	555,5	540,1	537,7
10	569,0	560,8	559,7	10	576,0	555,3	556,5
11	588,0	581,7	588,0	11	597,2	571,4	581,2
12	608,0	604,8	620,3	12	617,0	589,8	608,9
13	629,1	629,4	649,7	13	635,1	611,9	633,9
14	652,2	654,2	668,3	14	653,0	636,9	652,1
15	677,8	677,3	674,2	15	672,7	661,1	664,1
16	705,1	698,0	674,2	16	694,8	681,4	673,0
17	732,9	715,8	677,8	17	717,9	697,4	681,8
18	760,3	730,8	690,5	18	739,7	710,6	692,5
19	784,9	744,6	711,8	19	758,3	722,5	705,8
20	804,0	759,6	738,1	20	773,1	734,1	721,4
21	817,0	778,0	766,0	21	784,5	745,7	737,8
22	825,7	798,8	793,7	22	793,1	757,1	753,5
				23	799,4	768,0	767,4
				24	804,2	778,2	779,5
				25	808,0	787,6	789,9



**Вариант 5**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	91,4	59,4	53,0
2	96,0	72,1	67,0
3	100,8	83,8	80,5
4	106,7	94,7	93,4
5	114,3	105,1	105,7
6	123,9	115,8	117,3
7	135,4	127,5	128,6
8	148,8	140,5	140,0
9	164,1	154,6	152,1
10	180,9	170,1	166,0
11	198,7	187,3	183,6
12	216,8	206,5	207,2
13	235,5	227,4	237,6
14	255,4	250,1	269,3
15	277,0	274,3	293,8
16	300,3	298,6	307,0
17	324,8	320,3	312,2
18	349,8	337,2	315,9
19	374,6	349,6	323,9
20	397,4	359,9	338,0
21	416,0	370,9	356,1
22	430,0	383,8	375,2
23	440,2	398,3	393,2
24	447,8	412,9	409,6
25	453,9	426,6	424,1

**Вариант 6**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	89,1	52,9	45,8
2	93,7	65,8	60,1
3	98,3	78,1	73,9
4	103,6	89,4	87,0
5	110,3	99,9	99,6
6	118,8	110,4	111,6
7	129,4	121,5	123,0
8	141,9	133,9	134,2
9	156,2	147,4	145,9
10	172,3	162,2	158,7
11	189,7	178,4	174,2
12	207,7	196,6	194,5
13	226,1	216,7	221,8
14	245,2	238,5	253,8
15	265,9	262,1	282,9
16	288,5	286,6	301,8
17	312,5	310,0	310,2
18	337,3	329,4	313,8
19	362,3	343,8	319,2
20	386,4	354,8	330,3
21	407,3	365,2	346,7
22	423,6	377,1	365,7
23	435,5	390,9	384,4
24	444,3	405,6	401,6
25	451,0	419,9	417,0

**Вариант 7**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	100,4	87,3	81,5
2	107,4	97,9	94,1
3	115,7	108,6	106,0
4	125,9	119,5	117,6
5	138,1	130,9	129,5
6	152,1	143,8	142,1
7	167,5	158,6	155,9
8	184,2	175,2	171,9
9	202,1	193,5	192,3
10	220,8	213,4	217,9
11	240,1	235,1	246,8
12	260,2	258,4	274,2
13	281,8	282,6	294,4
14	305,5	306,2	304,8
15	331,4	327,3	307,8
16	357,9	344,2	310,2
17	382,4	357,6	317,6
18	403,5	369,8	331,2
19	420,4	382,3	349,0
20	432,7	396,1	368,4
21	441,6	410,4	388,0
22	448,6	423,7	407,4
23	455,0	435,5	425,8
24	461,0	446,4	442,3

**Вариант 8**

№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	97,2	82,0	75,1
2	103,8	92,6	87,8
3	111,3	103,3	100,1
4	120,6	114,0	111,8
5	131,8	125,1	123,5
6	144,9	137,2	135,7
7	159,6	150,9	148,8
8	175,7	166,7	163,5
9	193,0	184,1	181,5
10	211,4	203,3	204,5
11	230,4	224,0	232,2
12	250,1	246,6	261,0
13	270,8	270,4	285,4
14	293,3	294,6	300,8
15	318,3	317,2	306,9
16	344,8	336,2	308,7
17	370,5	351,2	313,1
18	393,5	363,7	323,7
19	412,5	375,9	339,8
20	427,1	389,1	358,6
21	437,5	403,2	378,2
22	445,2	417,3	397,8
23	451,9	429,8	416,8
24	458,1	441,0	434,3

Вариант 9				Вариант 10			
№ кадра	Обобщенные координаты			№ кадра	Обобщенные координаты		
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>		Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
1	90,2	58,2	44,5	1	92,5	82,9	84,6
2	95,2	71,0	60,9	2	96,4	88,7	91,9
3	100,8	83,6	76,9	3	100,9	94,7	98,9
4	107,8	95,9	91,9	4	106,5	101,0	105,3
5	116,3	107,7	105,5	5	113,2	107,8	111,8
6	126,3	119,4	118,3	6	121,4	115,5	118,8
7	138,1	131,7	131,0	7	131,4	124,1	126,7
8	152,0	145,4	143,8	8	143,4	134,0	135,6
9	167,8	160,7	157,7	9	157,3	145,4	145,5
10	185,3	177,5	174,0	10	172,6	158,4	156,7
11	204,4	195,7	194,7	11	188,6	173,6	170,0
12	224,9	215,8	221,5	12	204,8	190,8	187,0
13	246,3	238,1	251,4	13	221,6	209,9	209,4
14	268,3	262,7	277,0	14	239,1	230,7	236,4
15	291,4	287,8	293,1	15	258,1	252,7	263,0
16	316,7	311,1	301,3	16	278,6	275,1	283,8
17	344,1	331,0	306,8	17	300,7	296,4	297,8
18	371,5	347,8	314,2	18	324,1	315,4	307,4
19	395,8	362,5	325,9	19	348,0	331,4	315,9
20	414,8	376,1	341,4	20	371,1	345,0	325,8
21	428,7	389,7	359,5	21	391,8	357,1	338,3
22	438,5	403,5	378,8	22	408,9	369,0	353,4
23	445,4	417,5	398,5	23	422,2	381,8	369,3
24	450,5	431,1	417,5	24	432,2	396,2	384,0
				25	439,4	411,4	396,7

### Лабораторная работа №5

#### Построение хронограммы движения, индексное описание позы и движения тела человека.

**Цель.** Научиться определять периоды и фазы двигательного действия. Научиться строить линейную хронограмму. Ознакомиться со способом математического описания конфигурации системы тел.

**Исходные данные.** Кинограмма двигательного действия. Частота киносъемки. Для применения индексного метода описания позы используется промер из ЛР№1.

#### Ход выполнения работы.

1. На кинограмме определить граничные моменты, отделяющие фазы и периоды друг от друга.

2. Заготовить бланк таблицы расчета хронограммы, см. пример ниже в таблице 5.1.

3. Записать в графу 1 названия периодов и фаз двигательного действия, а в графу 2 – номера кадров, с которых они начинаются.

**Примечание.** Кадр окончания одной фазы одновременно является кадром начала другой фазы (следующей).

4. Рассчитать и записать в графу 3 число интервалов между кадрами ( $\beta$ ). Число интервалов между кадрами равно разности порядковых номеров последнего и первого кадров данного периода, данной фазы.

5. Рассчитать длительность периодов и фаз как произведение числа интервалов между крайними кадрами для каждой фазы и длительности интервала между соседними кадрами кинограммы. Результаты записать в графу 4.

6. Построить линейную хронограмму. Исходя из длительности двигательного действия и формата бумаги, выбрать масштаб изображения времени, для удобства откладывания временных отрезков построения рекомендуется выполнять на миллиметровой бумаге. Затем последовательно по периодам и фазам строить хронограмму.

7. **Пример.** Расчет хронограммы двойного шага в беге.

Таблица 5.1 - Пример расчета данных для хронограммы

Периоды и фазы	№№ кадров	$\beta$	t, с
Безопорный период	0-7	7	0,292
Опорный период	7-10	3	0,125
Безопорный период	10-15	5	0,208
Фаза амортизации	7-9	2	0,083
Фаза отталкивания	9-10	1	0,042
Фаза разведения бедер	0-2	2	0,083
Фаза сведения бедер	2-7	5	0,208
Фаза разведения бедер	7-12	5	0,208
Фаза сведения бедер	12-15	3	0,125

Безопорный период 0,292 с		Опорный период 0,125 с		Безопорный период 0,208	
фаза амортизации		→ 0,083 с	0,042 с ←	фаза отталкивания	
развед. 0,083 с	сведение бедер 0,208 с	разведение бедер 0,208 с		сведение 0,125 с	
0	2	7		12	№ кадра
0	0,08	0,29		0,50	t, с

Рисунок 5.1 - Линейная хронограмма двойного шага в беге

8. Для более точного количественного описания процесса движения и удобства анализа движения с применением ЭВМ используется индексная запись позы. Для большинства спортивных движений достаточно применение 14-звенной модели тела человека (см. ЛР№1), но иногда требуется для более точной передачи топологии сложного движения необходимо использовать 21-звенную модель, представленную на рисунке 5.2.



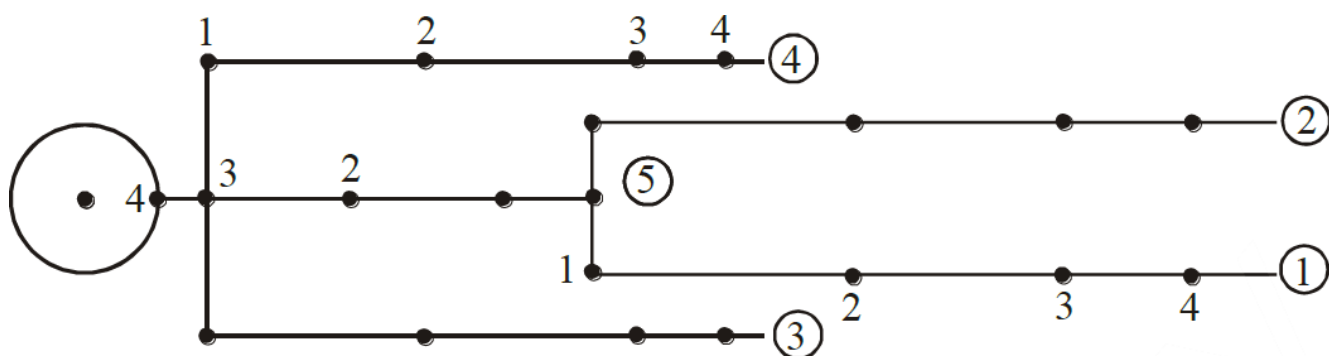


Рисунок 5.2 - Нумерация биокинематических цепей и сочленений тела человека при индексном описании позы (по В.Т. Назарову, 1984). Цепи: 1- правая нога, 2 – левая нога, 3 – правая рука, 4 – левая рука, 5 – позвоночный столб с головой.

Сочленения ног: 1 – тазобедренный сустав, 2 – коленный сустав, 3 – голеностопный сустав, 4 – плюснофаланговый сустав. Сочленения рук: 1 – плечевой сустав, 2 – локтевой сустав, 3 – лучезапястный сустав, 4 – пястнофаланговый сустав. Сочленения позвоночника: 1 – крестцово-поясничное, 2 – пояснично-грудное, 3 – грудно-шейное. 4 – атланто-затылочный сустав.

9. Для построения индексной матрицы следует на промере продолжить оси звеньев так, чтобы можно было измерить углы поворота звеньев тела с помощью транспортира или рассчитать углы между звеньями с помощью приемов, рассмотренных в ЛР№1. Через центры тазобедренных и плечевых суставов провести прямые, параллельные оси туловища.

10. Заготовить бланки матриц по числу исследуемых изображений.

11. Измерить углы поворота звеньев тела. Результаты записать в соответствующие клетки соответствующих матриц, как на примере ниже.

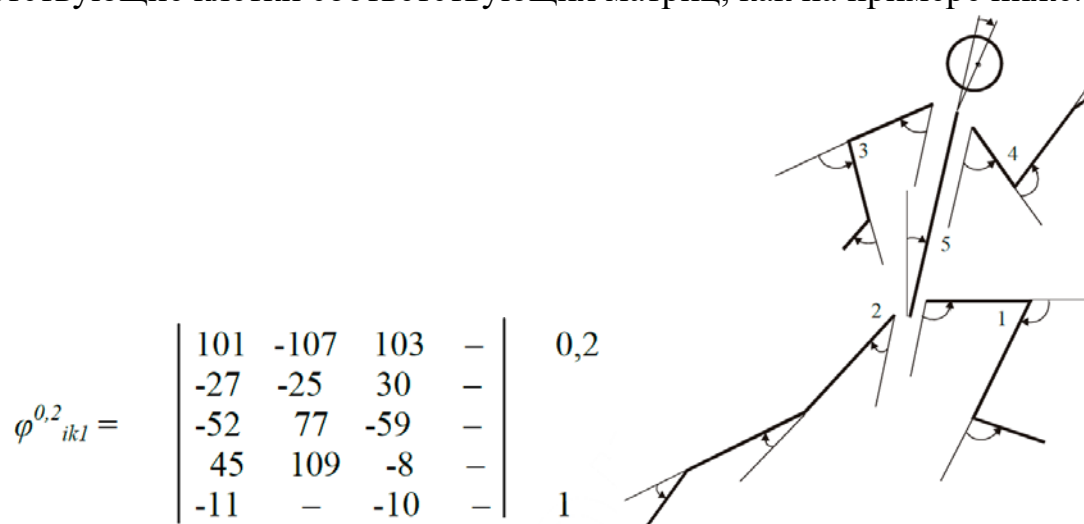


Рисунок 5.3 - Пример применения индексного описания позы тела человека

На схеме пронумерованы биокинематические цепи и показаны направления поворотов звеньев тела. Прочерки в матрице означают, что соответствующий угол не измерялся.

## Лабораторная работа №6

### Определение динамических характеристик движения.

**Цель.** Научиться определять базовые динамические характеристики движения, такие как сила (управляющая сила), момент силы, импульс и кинетический момент (момент импульса).

**Исходные данные.** Промер фазы физического упражнения. Величина и направление линейного ускорения ЦМ тела. Масса тела. Центральный момент инерции тела.

#### Ход выполнения работы.

##### Определение действующих сил графоаналитическим способом

1. На промере через ОЦТ тела провести линию действия силы тяжести.

Примечания: а) если эта линия проходит через площадь опоры, то сумма естественных сил равна нулю; б) если тело находится в безопорном положении, то естественная сила (сила тяжести) действуют по вертикали ( $F_{x\text{ ест.}} = 0$ ;  $F_{y\text{ ест.}} = mg$ ). В обоих случаях следует переходить к выполнению пункта 10 настоящей ЛР.

2. Провести прямую от ОЦТ тела к краю площади опоры на промере ( $R_{ин.}$ )

3. Измерить радиус инерции. Полученное значение умножить на величину, обратную масштабу промера, и перевести в метры.

4. Рассчитать полный момент инерции тела относительно края площади опоры.

5. Измерить перпендикуляр от края площади опоры к линии действия силы тяжести – плечо силы тяжести ( $d$ ). Полученное значение умножить на величину обратную масштабу промера и перевести в метры.

6. Рассчитать угловое ускорение, приобретаемое ОЦТ тела при естественном движении (под действием силы тяжести):

$$\varepsilon_{\text{ест.}} = mgd / J_{\text{полн.}}$$

7. Измерить угол между направлением действия силы тяжести и радиусом инерции ( $\alpha$ ).

Примечание. Если нет транспорта, то следует измерить расстояние от ОЦТ тела до поверхности опоры ( $h$ ). Полученное значение умножить на величину обратную масштабу промера и перевести в метры.

8. Рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие линейного (тангенциального) ускорения, приобретаемого ОЦТ тела при естественном движении:

$$\left. \begin{aligned} a_{x\text{ ест.}} &= \varepsilon R_{ин.} \cos \alpha = \varepsilon h, \\ a_{y\text{ ест.}} &= \varepsilon R_{ин.} \sin \alpha = \varepsilon d. \end{aligned} \right\}$$

Примечание. Если ОЦТ тела вращается против часовой стрелки, то  $a_{x\text{ ест.}}$  записывается со знаком "+";  $a_{y\text{ ест.}}$  всегда записывается со знаком "-".

9. Рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие естественной силы ( $F_{x\text{ ест.}}$  и  $F_{y\text{ ест.}}$ ).

10. Рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие результирующей силы ( $F_{x\text{ рез.}}$  и  $F_{y\text{ рез.}}$ ).

11. Рассчитать горизонтальную и вертикальную составляющие управляющей силы:

$$\left. \begin{aligned} F_{x \text{ упр.}} &= F_{x \text{ рез.}} - F_{x \text{ ест.}} \\ F_{y \text{ упр.}} &= F_{y \text{ рез.}} - F_{y \text{ ест.}} \end{aligned} \right\}$$

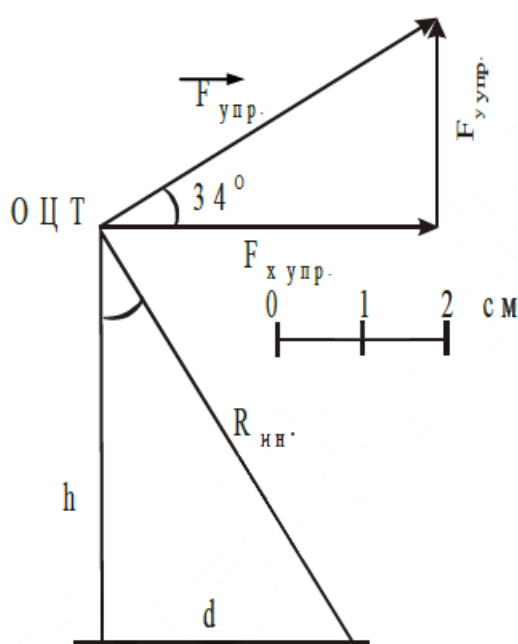
12. Построить результирующую управляющей силы ( $F_{\text{упр.}}$ ).

13. Сделать заключение:

- указать величину и направление управляющей силы;
- указать движения каких звеньев могли внести наибольший вклад в создание управляющей силы.

Пример. Дано: положение ОЦТ тела, точка опоры (край площади опоры) (рис. 3.4.1);  $a_{x \text{ рез.}} = 10,7 \text{ м/с}^2$ ,  $a_{y \text{ рез.}} = 7,4 \text{ м/с}^2$ ;  $m = 64 \text{ кг}$ ,  $J_{\text{ос}} = 10,8 \text{ кгм}^2$ ;  $M 1:10$ .

Определить величину и направление  $F_{\text{упр.}}$ .



$$R_{\text{ин.}} = 58 \text{ мм } 10 / 1000 = 0,58 \text{ (м)}.$$

$$\text{Аналогично } h = 0,50 \text{ м, } d = 0,30 \text{ (м)}.$$

$$J_{\text{полн.}} = 10,8 + 64 \cdot 0,58^2 = 32,3 \text{ (кгм}^2\text{)}.$$

$$\varepsilon_{\text{ест.}} = 64 \cdot 9,81 \cdot 0,30 / 32,3 = 5,83 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

$$a_{x \text{ ест.}} = 5,83 \cdot 0,50 = -2,9 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

$$a_{y \text{ ест.}} = 5,83 \cdot 0,30 = -1,74 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

$$F_{x \text{ рез.}} = 64 \cdot 10,7 = 884,8 \text{ (н)}.$$

$$F_{y \text{ рез.}} = 64 \cdot 7,4 = 473,6 \text{ (н)}.$$

$$F_{x \text{ ест.}} = 64 \cdot (-2,9) = -185,6 \text{ (н)}.$$

$$F_{y \text{ ест.}} = 64 \cdot (-1,74) = -111,4 \text{ (н)}.$$

$$F_{x \text{ упр.}} = 884,8 - (-185,6) = 970,4 \text{ (н)}.$$

$$F_{y \text{ упр.}} = 473,6 - (-111,4) = 585,0 \text{ (н)}.$$

### Определение кинетического момента (момента количества движения) тела человека

1. Заготовить 2 бланка таблицы расчета кинетического момента тела человека:

Звено	m, кг	V, м/с	d, м	$J_0$ , кгм <sup>2</sup>	$\omega$ , рад/с	Лп., нм
1	2	3	4	5	6	7
...	...	...	...	...	...	...

2. Из таблицы расчета положения ОЦТ тела перенести в графу 2 значения масс звеньев тела.

3. Рассчитать время между кадрами.

4. Измерением на промере или аналитически определить перемещения ЦТ звеньев между кадрами ( $S$ ).

5. Рассчитать линейные скорости ЦТ звеньев. Результаты записать в гр. 3.

6. Измерить на промере плечи количества движения звеньев ( $d$ ) – перпендикуляр от точки опоры к направлению линейного перемещения ЦТ звена. Полученные значения умножить на величину обратную масштабу промера и перевести в метры. Результаты записать в гр.4.

Примечание. Если  $d$  отклоняется от вертикали по часовой стрелке, то его величина записывается со знаком "–".

7. Из таблиц расчета центральных моментов инерции тела перенести в гр.5 значения центральных моментов инерции звеньев тела.

8. Определить углы наклона звеньев тела. Рассчитать угловые скорости звеньев. Результаты записать в гр.6.

9. Рассчитать полные кинетические моменты звеньев тела. Результаты записать в гр.7.

10. Рассчитать полный кинетический момент тела человека (сумма чисел гр. 7). Пример: Звено – бедро.  $m = 9,0$  кг.  $J_o = 0,13$  кгм<sup>2</sup>.  $\gamma = 24$  к/с.

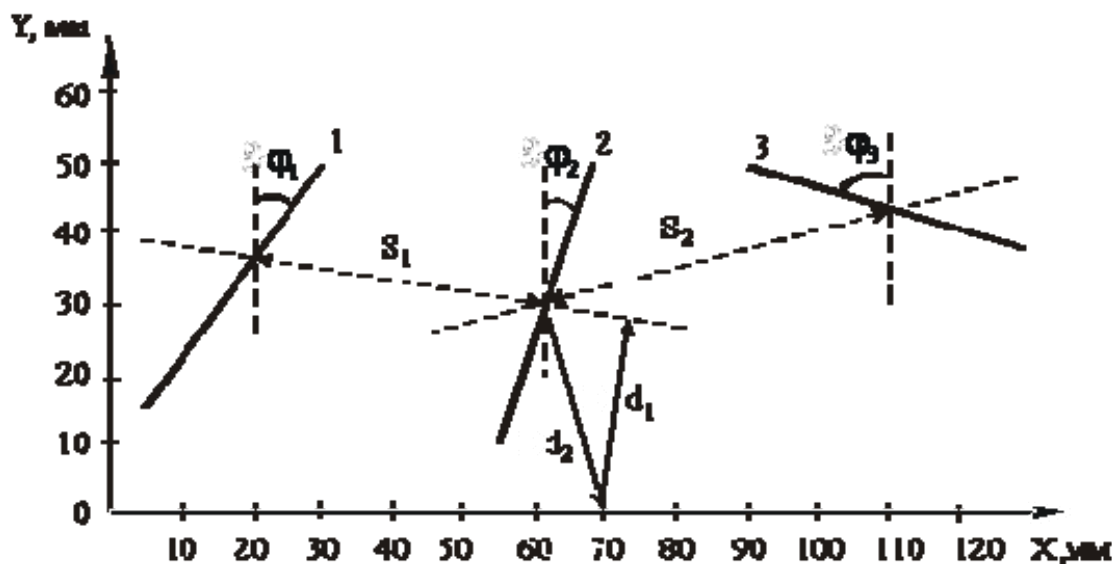


Рисунок 6.1 - Иллюстрация графоаналитического определения кинетического момента звена тела

Таблица 6.1 - Расчет кинетического момента бедра

Звено	m, кг	V, м/с	d, м	$J_o$ , кгм <sup>2</sup>	$\omega$ , рад/с	$L_{полн.}$ , нм
Бедро	9,0	10,56	-0,29	0,13	7,43	-26,60
Бедро	9,0	11,52	0,30	0,13	39,20	36,20

Расчет линейной скорости ЦТ звена:

- измерением получаем  $S_1 = 44$  мм  $10/1000 = 0,44$  м;
- время между кадрами  $1/24$  с;
- отсюда  $V_1 = 0,44/1/24 = 0,44 \cdot 24 = 10,56$  (м/с).

Определение плеча количества движения звена. Измерения и преобразования дали  $d_1 = 0,29$  м. Так как  $d_1$  отклонилось от вертикали по часовой стрелке, записываем его величину со знаком "–".

Расчет угловых скоростей звеньев – см. ЛРН№4.

## **Лабораторная работа №7**

### **Определение полезной механической работы и средней мощности.**

**Цель.** Ознакомиться с аналитическим способом определения энергетических характеристик движения.

**Исходные данные.** Масса и полные моменты инерции тела. Координаты и линейные скорости ОЦТ тела. Угловые скорости продольной оси тела.

**Ход выполнения работы.**

1. Используя значения  $Y_{\text{оцт.}}$  рассчитать изменение потенциальной энергии тела между I и II кадрами.

2. Используя данные рассчитать изменение кинетической энергии тела при поступательном движении.

3. Используя данные лаб. работы 4 рассчитать изменение кинетической энергии тела при вращательном движении.

4. Рассчитать полезную механическую работу.

5. Рассчитать среднюю мощность полезной механической работы.

## **Лабораторная работа №8**

### **Определение показателей электроактивности мышц с помощью миографа.**

**Цель.** Ознакомиться с современным аппаратным методом регистрации и анализа биоэлектрической активности мышц.

**Оснащение.** электромиограф, накожные электроды, электродная паста (предпочтительно) или физраствор, вата, лейкопластырь, спирт. Работа проводится на человеке.

**Ход выполнения работы.**

1. Кожу предплечья испытуемого обрабатывают спиртом, а затем специальной пастой для уменьшения межэлектродного сопротивления. Укрепляют накожные электроды.

2. На предплечье второй руки накладывают электроды для заземления.

3. Предлагают испытуемому производить сгибание пальцев руки с легким, средним и максимальным усилием и после каждого сокращения записывают электромиограмму.

4. Проведение исследования зависимости величины интегрального значения биопотенциала (электрод установить на бицепсе) от времени в процессе удержания гантели до отказа в руке, согнутой под прямым углом. Локоть следует опереть на край жесткой поверхности, упражнение выполняется сидя.

Масса гантели подбирается исходя из силовых качеств мышц рук испытуемого, с таким расчетом, чтобы время удержания было около 2-3 мин.

5. По результатам измерений построить график зависимости в масштабе на миллиметровой бумаге.

**5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1 Основная литература**

1. Бегун П.И. Биомеханика [Электронный ресурс]: учебник/ Бегун П.И., Шукейло Ю.А. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Политехника, 2012. — 463 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16294>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.

### **5.2 Дополнительная литература**

1. Тарасов В.К. Биомеханика: учеб. пособие / В.К. Тарасов; ТулГУ. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. — 168 с.

2. Грязев М.В. Биомеханика спорта: учеб. пособие / М.В. Грязев, В.Д. Хитров; ТулГУ. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. — 314 с.: ил.

3. Хитров В.Д. Биодинамические методы для управления движениями человека: монография / В. Д. Хитров. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. — 239 с.: ил.

4. Курьсь В.Н. Биомеханика Сов. Спорт, 2013.

5. Попов Г. И. Биомеханика: учебник для вузов / Г.И. Попов. — 4-е изд., стер. — М.: Академия, 2009. — 255 с.

## **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Электронный читальный зал “БИБЛИОТЕХ”: учебники авторов ТулГУ по всем дисциплинам.- Режим доступа: <https://tsutula.bibliotech.ru/>, по паролю.- Загл. с экрана.

2. Научная Электронная Библиотека eLibrary – библиотека электронной периодики, режим доступа: <http://elibrary.ru/> , по паролю.- Загл. с экрана.

## **7 Перечень необходимого ежегодно обновляемого лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

1. Текстовый редактор Microsoft Word;

2. Программа для работы с электронными таблицами Microsoft Excel;

3. Программа подготовки презентаций Microsoft PowerPoint;

4. Пакет офисных приложений МойОфис».