

Демидченко Егор Александрович,
студент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: demidchenko.ea@yandex.ru

Истомин Андрей Леонидович,
д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: a.l.istomin@mail.ru

АНАЛИЗ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ КИСТИ РУКИ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТЕЗА

Demidchenko E.A., Istomin A.L.

ANALYSIS OF THE ANTHROPOMETRIC DATA OF THE HAND OF MAN FOR THE PROTECTION PROJECTION TASK

Аннотация. Проведено исследование антропометрических данных кисти руки человека среди респондентов в возрасте от 16 до 21 года. Исследованы физиологические процессы, протекающие во время движения и манипуляций кисти.

Ключевые слова: протезирование, анатомия, физиология, электроника, математическое моделирование, программирование

Annotation. The study of anthropometric data of the human hand among respondents aged 16 to 21 years. The physiological processes occurring during the movement and manipulation of the hand are investigated.

Keywords: prosthetics, anatomy, physiology, electronics, mathematical modeling, programming

Сегодня область протезирования является очень перспективной областью, которую необходимо развивать. Современные технологии и богатый накопленный опыт позволяет проектировать сложные устройства и даже создавать костные импланты и органы для трансплантации из биологических материалов. Не менее важно проектирование и создание протезов конечностей. Например, протез кисти нельзя назвать органом, но он не менее важен, так как позволяет вернуть пациента к нормальному образу жизни, что определено заслуживает внимания.

Первым основным шагом при проектировании протеза является сбор и анализ антропометрических данных, которые исследователь получает при помощи методик обмера конечностей. Эти данные позволят максимально точно спроектировать протез в соответствии с анатомическими особенностями каждого пациента для того, чтобы максимально минимизировать эффект ампутации на осанку, вызываемый неестественными компенсирующими движениями, не доставлять дискомфорт и не нарушать естественных функций организма человека. После этого полученные данные лягут в основу проектирования опытного образца протеза. Дальнейшее исследование предполагает статистическую обработку полученных данных антропометрического исследования для выявления латентных антропометрических показателей методами многомерного статистического анализа, построение математической модели, позволяющей проводить диагностику функционального состояния мышц и биопотенциала импульсов, возникающих в результате возбуждения нервных окончаний.

Целью работы является исследование электрических сигналов протекающих в разгибателе пальцев, локтевом разгибателе запястья и поверхностном сгибателе пальцев, а также проведение обмеров антропометрических данных среди группы респондентов, необходимых для дальнейшего проектирования протеза кисти.

Антропометрическое измерение кисти руки проводилось по определенной программе, изображенной на рисунке 1. В основном измерялись основные ведущие размерные признаки. Размерные признаки, включаемые в программу, измерялись в распрямленном состоянии между одними и теми же отправными точками, которые отмечаются на кисти в исходном ее положении, то есть в статическом положении.

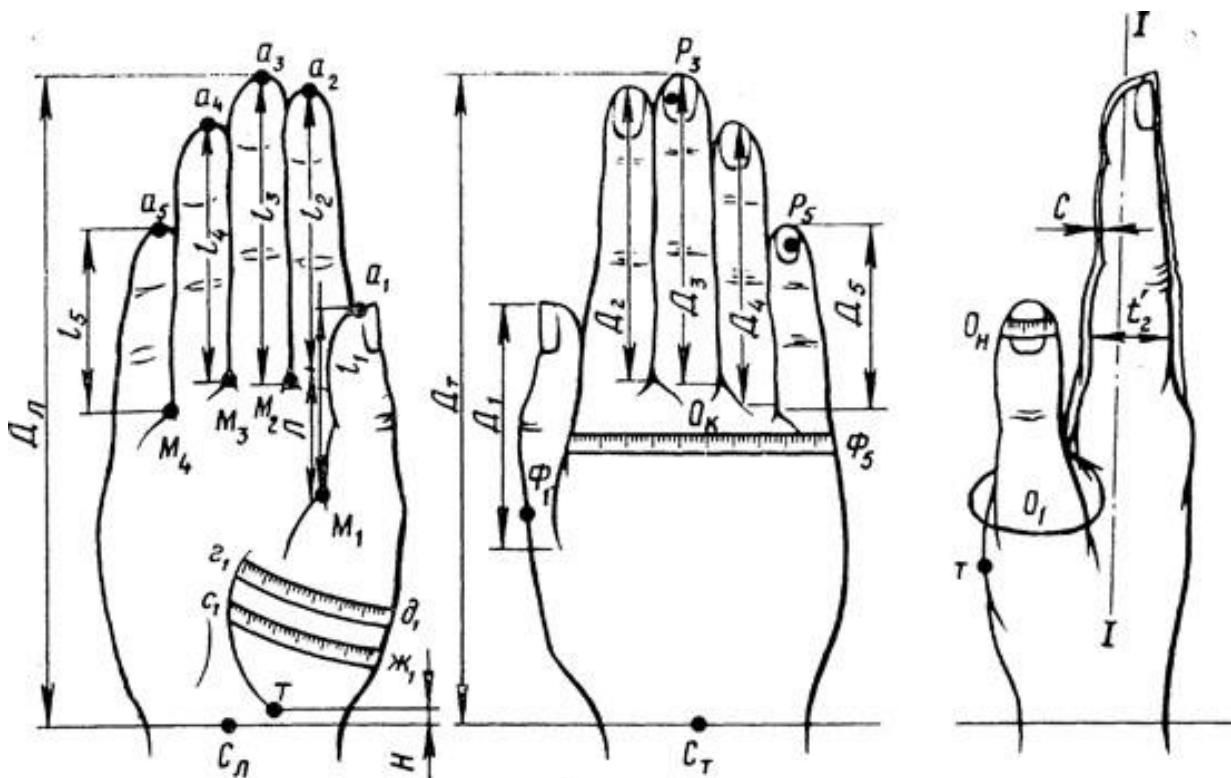


Рисунок 1 – Программа обмера кисти

Результаты обмеров кисти, полученные в ходе исследования, сгруппированы в таблице 1 по каждому из измеряемых параметров, где Дл – длина кисти с ладонной стороны (см), Дт – длина кисти с тыльной стороны (см), l1 - 5 – флексорная длина каждого пальца (см), Д1 - Д5 – тыльная длина каждого пальца (см), Н – расстояние от основания кисти до основания тенара (см), Ок – обхват кисти (см), Он – обхват первого пальца (см), ОI – обхват пястнофалангового сустава (см), г1ж1 и с1ж1 – длина первой и второй дуг тенара (см), t2 – толщина пальцев на уровне межпальцевых точек (см), Сл – толщина основания кисти (см).

После группировки полученных результатов обмеров антропометрических данных, была проведена описательная статистика, получены основные статистические показатели.

Таблица 1 Данные антропометрического исследования среди респондентов в возрасте от 16 до 21 года

№	Возраст	Дл	l5	l4	l3	l2	l1	гД1	сlж1	Сл	Н	Дг	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Ок	Он	Оl	l2
1	16	18,1	5,2	7	7,2	6,4	5,1	6,4	7	5,4	2	18,1	6,1	8,2	9,2	8,3	6,2	19	5,2	6	2
2	16	17,1	5,3	7,1	7,4	7,2	5,3	6,2	7	5,4	3	17	5,2	8,2	9,1	8,2	6,3	18,3	6	6	1,4
3	16	19	5,3	7	8	7	5,4	6,2	6,4	5,4	2	19,2	6	9	10	9,4	6,2	17,2	5	5,3	1,4
4	18	20	6	7,2	8,1	7	6,1	7,1	7	5,3	2	20	6,2	8,4	9,4	9	6,3	20,1	6	6,4	2,1
5	16	17,2	5,3	7	8	7	5,2	6,1	6,2	5,4	3	17,4	6	8,2	9,2	8,1	6,1	17,3	5,3	5,4	4,4
6	16	18,3	6	7	8	7,1	5,4	6,4	6,3	6	3	18,1	6	8,3	8,4	8	7	18,1	5,3	6,1	2
7	17	17,2	5,1	6,4	7,1	5,2	4,4	6	6	5,2	2	17,2	5,3	8	8,3	7,4	5,4	16,3	5	5,1	1,3
8	21	17	5,1	6,3	8	7	5,9	4,4	4,3	5,3	2	17	5,9	7,2	8,4	8,2	6	18,9	2,2	6,2	2
9	20	17,2	6	7,1	7,2	6,4	4,4	6	6,1	6	2	17,3	6,1	7,4	8,1	7,4	6	18,2	5,4	5,4	2
10	17	16,3	5,1	6,2	7,1	6,2	4,2	6,2	6	5	3	16,1	5,3	7	8	7,1	6	17	5	5,2	1,3
11	16	19,2	5,4	7,2	7,4	7	5	7,3	7,2	6,2	2	19,05	6	8	9	8,2	6,4	20	5,3	6,2	2,1
12	17	17,4	6	6,2	7,1	6,3	5,2	6,1	8,2	6,1	2	17,4	6,1	7,2	8	7,3	6	19	5,2	6	2
13	18	18	5,2	7,1	7,4	7	5	6,2	6,3	5,4	2	18,1	6,1	8	8,2	8	6,2	18,3	5	6	2
14	18	17,2	5,2	6,4	7	6,3	5,1	6	6,2	5,2	2	17,1	6	7,2	8,3	7,4	5,4	17,4	5,1	5,3	2
15	20	18,1	6	7	8	7	5,1	6,1	6,4	6,2	2	18	6	8	8,3	8	6,1	20,1	5,2	6,4	2,1
16	21	18,2	5,2	7	7,2	6,3	4,3	6,3	6,3	5,3	3	18,2	6	7,3	8,2	8	6	18,1	5,3	5,4	1,4
17	17	18	6	7,1	8	7	5,4	6,3	6	6	2	17,4	6	8,2	9	8,3	6	18,2	5,1	6	2,1
18	17	18	5,2	7	7,3	6,4	5	6,4	7	6	2	18	5,4	8	8,1	8	6	18,2	5,2	6	2
19	17	18,2	6	7	8	7,1	6	7	6,2	6	3	18,1	7	8	9,1	8,2	6,4	18,2	5,4	6,2	2
20	19	17,2	5,2	6,4	7,1	6,1	5	6,1	7	5,4	2	17,4	6	7,4	8,4	7,2	5,4	18,4	5,2	5,4	1,4
21	18	18	5,3	7	7,2	7	6	6,1	6,3	5,4	3	18,2	7	8,1	8,2	7,4	5,4	18,2	5,1	6	2
22	18	17,3	5,4	6,4	7,1	6,3	5,2	5,2	6,3	5,4	2	17,2	6	7,4	8,1	8	6,1	19,2	5,2	6,2	2
23	17	18,1	6	7	7,3	6,4	5,4	6,2	7	6	2	18	7	7,3	9	8,2	6,4	19,4	5	6,2	2,1
24	18	17,9	6	6,4	7	6,4	6	6,2	7	6	2	17,8	6	8	8,1	7,3	6,1	19	5,4	6,1	2
25	17	19	6,1	7,1	8	7,1	6	7	7	6	2	19	6,2	8,2	9	8,3	6,1	19,2	6,3	6,5	2,2
26	17	18	6	7	7,1	6,3	5,2	6,2	6	5,3	1,5	17,4	6	7,4	8,1	8	6,1	18	5,3	6	1,4
27	17	17,1	5	6,4	7	6,1	5	6,3	6,5	5,9	2	17	6	8,1	8,2	7,4	6,1	19	5,4	6	2
28	16	16,1	5,1	5,9	7	6,4	5	5,1	6	5,2	1,5	16,1	6	7,4	8	7,2	5,4	17	5,3	6	2
29	17	18	5,1	6,1	7,1	6,4	5,1	6,9	7	6,1	2	18	6	8	8,3	7,9	6,1	19,1	5,2	6,1	2
30	18	19,1	6	7,9	8	7,3	5,4	5,8	6,2	6	2	19	6	8,9	9	8,1	7	18,4	5,2	6,1	1,9
31	17	18,9	6	7	8	7	6,4	6,9	7	5,2	2	18,5	6,9	8,9	9,1	8	6,2	18,4	5	6,2	2
32	19	15,9	7	7,1	6,3	5	6,1	7	5	6,1	1,5	15,4	6	7,1	8	7,2	6,2	19,2	6,7	6,3	2,1
33	19	17,1	5,4	7,2	8	7	5,3	6	6,1	6,1	1,3	17	7	8	9	8	6,1	20	5	6,1	2,1
34	18	16	5,2	6,3	7,2	6,2	5,1	6	6,1	5	2,1	16,1	6,2	8	8,9	8	6,1	17,9	5,3	6,1	2,1
35	20	16	4,4	6	7	6,1	4,1	6,1	5,4	5,2	0,2	16	6	7,4	8,3	8	6,1	17,4	5,4	5,4	1,4
36	21	18,1	5,3	7	7,4	6,3	5,2	6	6,4	6,2	2	18,2	6,1	8	9,2	8,3	6	19	5,3	6,2	2,1
37	16	16	4,4	6	7	6,1	4,1	6,1	5,4	5,2	0,2	16,1	6	7,4	8,3	8	6,1	17,4	5,4	5,4	1,4
38	20	20	6,1	7,4	8,2	7,2	6,3	7,4	7,4	6	1	21,2	7	8,4	9,4	9,4	7,1	19,2	5	6	1,4
39	16	18,25	5,4	7	8,1	7	5,45	6	7	6	1,5	17,2	6	8,2	9,3	9	6,3	18,2	5,2	5,4	2
40	16	16,1	5,05	6,2	7,15	7	5,3	6	6,3	5,3	1	16,05	5,1	8,1	8,15	8,1	6,15	17,2	5,1	5,3	1,3
41	16	18,05	6	7,1	8,15	7,2	5,4	5,3	7	6	2	18,1	6,1	9,1	9,3	9	6,3	19,2	5,1	6	1,4
42	16	19	5,2	6,1	8,25	7,3	6,3	5,2	6,1	5,3	1	19,05	6,1	9,05	9,15	8,4	9	18	5,1	5,4	1,3
43	18	19,1	5,1	7,2	8,1	7,4	6,2	7	7,2	6,2	1,2	18,1	6,4	9,1	9,2	9,3	6,4	19,4	5,4	6,2	2,1
44	16	18,3	5,2	6,4	8	7	6	7	6,4	5,3	1	17,2	6,4	8,05	9,1	8	6,05	18,1	5,1	6	2
45	16	15,15	4,4	5,2	6,2	6,15	6	6,15	6	5,25	1,4	15,2	5,4	7,1	8	8	5,2	16,4	5	5,3	1,35
46	16	17,4	6	7,1	8	6,4	6,1	6	6,2	5,4	2	17,1	6,15	8,1	9,2	8,4	6,25	18,1	5,1	6,1	2,1
47	16	19,1	6,2	7,3	8,2	7,3	6,1	5,4	7,4	6,2	2	18,2	7	8,1	9,3	8,4	7	18,2	5,4	6,4	2
48	17	16,2	5,1	6,2	6,4	6,1	5,2	6,2	6,1	6	1,2	16	5,2	8,1	8,2	8,2	6	17,4	5	5,3	2,1
49	17	17	5	6,2	7,3	6,2	5,1	5,2	6	5	1	17	5,2	8	8,3	8,1	6,4	16,4	5	5,1	1,4
50	16	18,1	6	7,1	8	7,2	6,3	6	7,4	5,4	1	18,1	6,2	9,2	9,3	9,1	7,1	17,4	5,1	6,1	2

За управление двигательным аппаратом человека отвечают соответствующие центры мозга, входящие в состав центральной нервной системы. С помощью управления последовательными электрическими импульсами (сигналами), посылаемыми периферической нервной системе человека, происходит движение двигательного аппарата [1]. Эти импульсы несут в себе информацию, в соответствии с которой двигательный аппарат приходит в движение. В отличие от произвольных действий, контролируемых мозгом, существуют действия и движения, которые производятся автоматически, без участия высших нервных центров. Такие действия выполняются через круг, называемый рефлекторной дугой. Рефлекторная дуга состоит из: рецепторов, распознающих импульс, нервных волокон, передающих импульс в спинной мозг, где вырабатывает ответ, и нервных волокон, передающих команды органам, их выполняющим. За управление кистью руки отвечают следующие мышцы предплечья:

- Короткий лучевой разгибатель запястья;
- Длинная мышца, отводящая большой палец;
- Разгибатель указательного пальца кисти;
- Длинный лучевой разгибатель запястья;
- Короткий разгибатель большого пальца;
- Длинный разгибатель большого пальца;
- Плечелучевая мышца;
- Локтевая мышца;
- Локтевой разгибатель запястья;
- Разгибатель пальцев.

ЭМГ - сигналы имеют специфическую структуру, характерную для различных типов движения мышц. Если уловить такой сигнал, и распознать к какому типу он относится, то можно управлять многофункциональным протезом.

Поверхностные и внутримышечные сигналы регистрируются поверхностными или игольчатыми электродами и отражают информацию о движениях мышц человека. Эти сигналы зависят от внутренней структуры испытуемых, в том числе от их индивидуальных особенностей кожи, скорости кровотока, изменений температуры кожи, структуры кожной ткани и других факторов.

Поверхностные и внутримышечные сигналы регистрируются поверхностными или игольчатыми электродами и отражают информацию о движениях мышц человека. Эти сигналы зависят от внутренней структуры испытуемых, особенностей организма, скорости кровотока, температуры тела и других факторов.

Для получения регистрации сигнала используются три ЭМГ - датчика, расположенных на разгибателе пальцев, локтевом разгибателе запястья и поверхностном сгибателе пальцев так, как это показано на рисунке 2. При этом

межэлектродное расстояние составляет 30 - 35 мм. При таком расстоянии амплитуда поверхностной электромиограммы обладает метрологическими признаками надежности и достоверности, т.е. меняется от измерения к измерению в пределах 5-18%. При уменьшении межэлектродного расстояния амплитудные показатели электромиограммы снижаются, а при увеличении до 55 мм — увеличиваются, однако при этом растет величина вариативности сигнала вплоть до 25%. При уменьшении расстояния между электродами до 20-25 мм вариативность сигнала заметно снижается до 5-10%, однако, при этом снижается амплитуда миограммы на 10-30%, по сравнению с оптимальным расстоянием в 30-35 мм.

Данный выбор расположения электродов обусловлен расположением в указанных местах точек с характерной активностью [2].



Рисунок 2 – Расположение электродов на мышцах предплечья

Основной полученный результат - это интерференционная кривая, изображенная на рисунке 3, представляющая собой полиморфную активность, которая возникает во время произвольного сокращения мышцы или при напряжении других мышц. Данная кривая соответствует электромиограмме первого типа и возникает в состоянии покоя, при произвольном сокращении мышц.

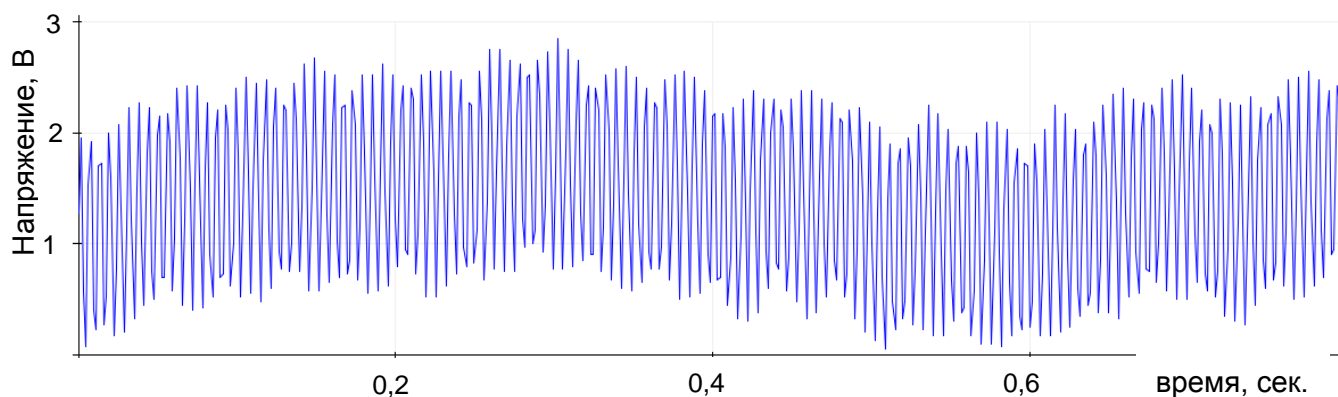


Рисунок 3 – Интерференционная кривая соответствующая электромиограмме первого типа

Типичные сигналы, регистрируемые на трех датчиках, расположенных на предплечье, соответствующие процессу сгибания — разгибания («качания») лучезапястного сустава, представлены на рисунке 4.

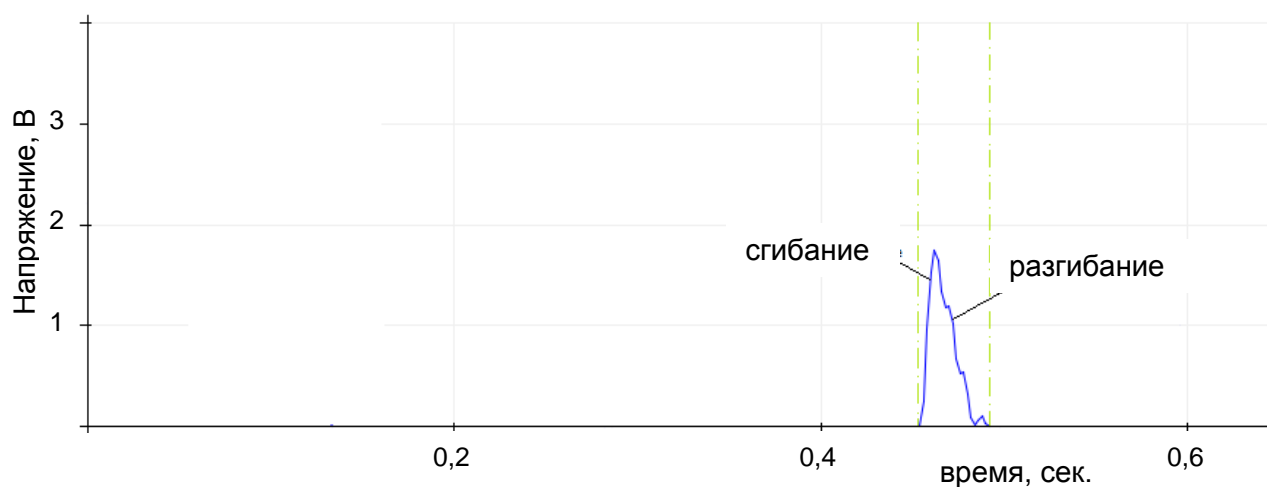


Рисунок 4 – Входной ЭМГ – сигнал с электродов, регистрирующий процесс сгибания — разгибания («качания»)

Изменение сигналов имеет сходный характер, за исключением максимального уровня амплитуды и некоторого относительного смещения по времени.

На рисунке 5 изображена электромиограмма, запечатленная в процессе быстрого напряжения и расслабления мышц.

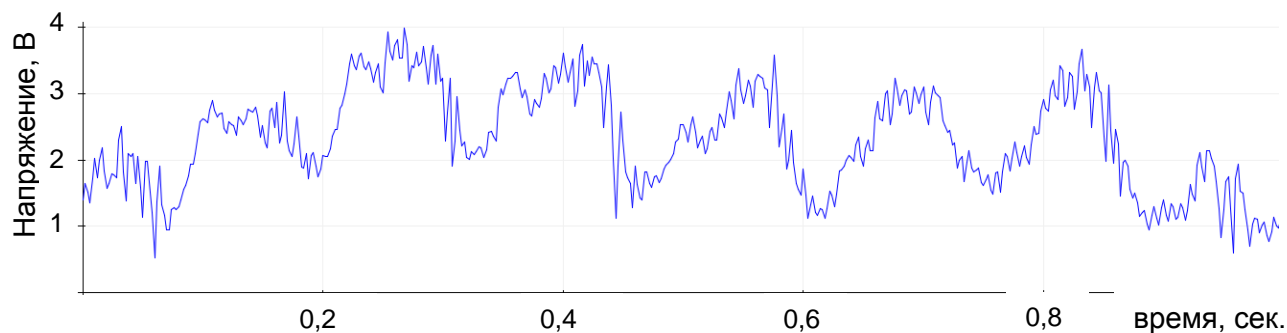


Рисунок 5 – Входной ЭМГ – сигнал, соответствующий электромиограмме, регистрирующей быстрое периодическое напряжение и расслабление мышц

На рисунке 6 изображена электромиограмма, запечатленная в процессе супинации с интервалом времени примерно в 1 с.

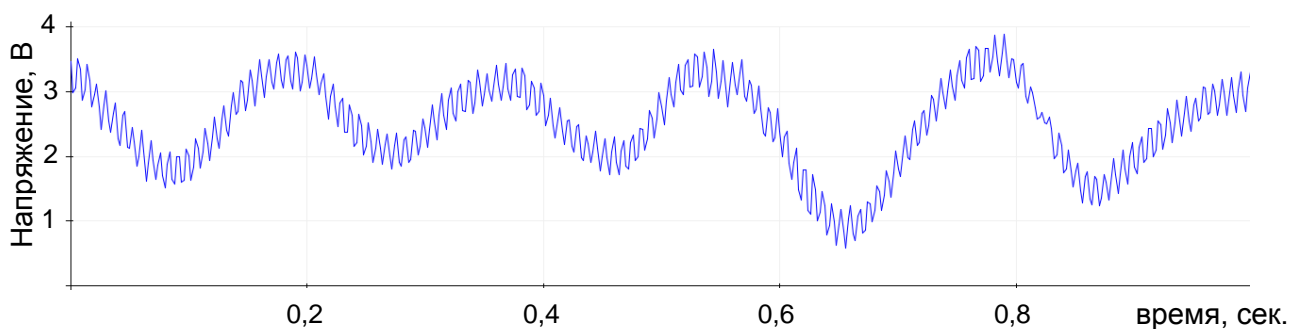


Рисунок 6 – Входной ЭМГ– сигнал, соответствующий электромиограмме, регистрирующей супинацию

На графиках, изображенных на рисунках 3 – 6, видно, что в данных присутствуют шумы, обусловленные особенностями фиксации электродов на поверхности тела, а также возникающих под влиянием иных факторов. Для получения более «чистых» показаний необходимо применять процедуры фильтрации.

Так, на рисунке 7 можно наглядно увидеть разницу между исходным и отфильтрованным сигналами.

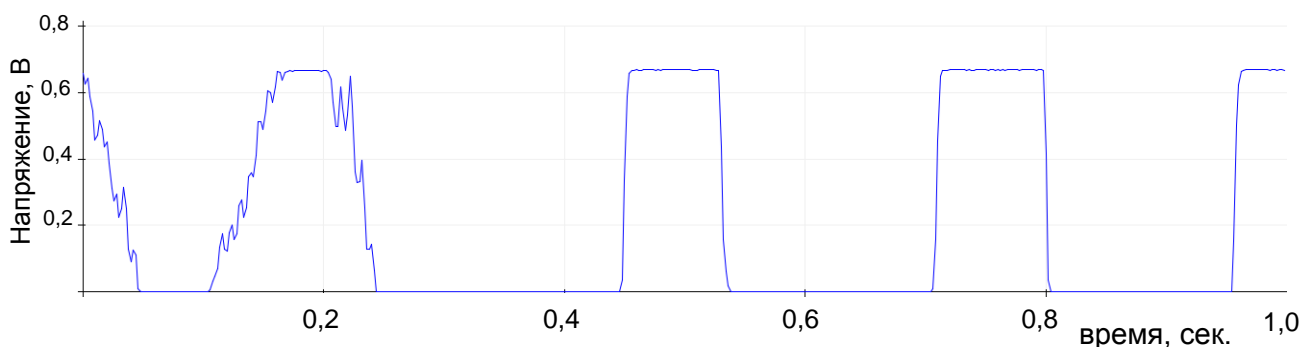


Рисунок 7 – Разница между исходным и фильтрованным медиальным методом сигналами на примере сгибания и разгибания запястья

Не смотря на некоторое искажение полученного ЭМГ – сигнала, неточность графиков, вызванных многими факторами, включая несовершенство устройства, с помощью которого проводилось исследование, можно с уверенностью сказать, что исследование прошло удачно, так как мы можем наглядно наблюдать реальные результаты, соответствующие описанным в научной литературе. Кроме этого, полученные данные подтвердились на практике в ходе эксперимента с серво - приводом.

Исследования ЭМГ сигналов проводилось с использованием самодельного электромиографа, собранного на основе платформы ArduinoUno с использованием датчиков AD8232 и соединенного с компьютером для вывода результатов на экран. Сигналы сокращения мышц регистрируются в режиме реально-

го времени с помощью датчиков AD8232 и платы ArduinoUno, предназначенной для снятия электромиограммы и передачи ее в персональный компьютер. Датчик AD8232, предназначен для получения, усиления и фильтрации, слабых биопотенциальных сигналов. AD8232 включает в себя двухполюсный фильтр высоких частот и нескоммутированный операционный усилитель, который позволяет использовать технологию многополюсной низкочастотной фильтрации для удаления шума линии и других помех. Данный датчик снимает показания по методу двухполюсных отведений, при котором фиксируется разность потенциалов между двумя точками электрического поля.

Для предварительной обработки (фильтрации) сигналов и выявления признаков, определяющих тип движения, используется программное обеспечение – Arduino IDE со встроенным монитором порта и плоттером по последовательному соединению, в котором реализован ряд алгоритмов цифровой обработки сигналов. Полученные признаки движения передаются в подсистему распознавания. Результатом распознавания является график движения лучезапястного сустава, который преобразуется в сигналы управления исполнительными устройствами через интерфейсы платы ArduinoUno. Таким образом, может быть реализовано управление устройством специального назначения (УСН), которое, как правило, является механическим «повторителем» движений (биомехатронным протезом) [3]. Блок-схема процесса сбора и обработки данных ЭМГ представлена на рисунке 8.

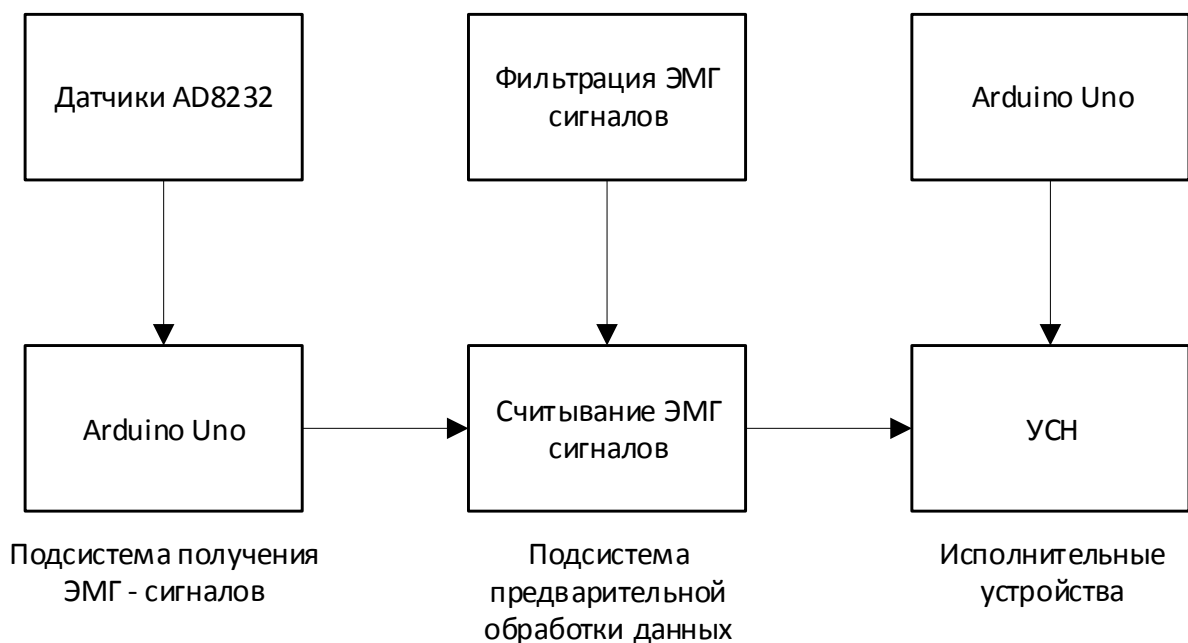


Рисунок 8 - Схема процесса сбора и обработки данных ЭМГ

Исследования сигналов электромиографии, полученные с помощью поверхностных электродов, подтвердили наличие особенностей, характерных для определенного типа движения лучезапястного сустава, а собранный на основе полученных данных стенд с использованием сервопривода подтвердил возможность проектирования устройства специального назначения (УСН) по методу, описанному в работе [4]. Таким образом, полученные в результате обработки сигналов признаки могут быть использованы для классификации типа движений.

Представленная структура программно-аппаратного комплекса электромиографии может быть использована как для лабораторных исследований, так и для прототипирования биоинформационных систем наряду с системами управления многофункциональными биопротезами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И., Гайворонский А.И. Анатомия и физиология человека: учебник - 6-е издание переработано и дополнено - М: Издательский центр «Академия». 2011. 496 с.
2. Гаврилов А.И., Со СоТав У. Биоинформационная система с классификатором движений лучезапястного сустава на основе нечеткой логики. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2016. 84 с.
3. Демидченко Е.А. Разработка бионического протеза предплечья человека. Сборник трудов молодых ученых АНГТУ. Ангарск, 2018. 236 с.
4. Демидченко Е.А., Липнин Ю.А. Разработка бионического протеза предплечья человека. Современные технологии и научно-технический прогресс. Ангарск, 2018. 249 с.