

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сочинский государственный университет»**

На правах рукописи

Белинский Артём Викторович

**ВЛИЯНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ НАВЫКИ ПИСЬМА**

Специальность: 5.3.2 – Психофизиология
(психологические науки)

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата психологических наук

Научный руководитель:

Академик РАО, доктор психологических наук, доцент

Гайдамашко Игорь Вячеславович

Сочи – 2023

Оглавление

Введение.....	5
ГЛАВА 1. ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ КАК ФЕНОМЕН, ТЕОРИИ И КОМПОНЕНТЫ.....	16
1.1 . Терминологические особенности идеи об эмоциональном напряжении.....	16
1.2. Развитие понятия о стрессе и эмоциональном напряжении	18
1.3. Концепция аффекта и его компонента возбуждения во взаимосвязи с концепцией напряжения	20
1.4. Взаимосвязь эмоционального напряжения как фактор возбуждения с активационными теориями.....	26
1.5. Влияние эмоций на характер и генез эмоционального напряжения.....	28
1.6. Вывод к главе 1	30
ГЛАВА 2. ТЕОРИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИСЬМЕННОГО АКТА В СВЯЗИ С ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ.....	31
2.1. Процесс письма как сложный психический навык и его автоматизация.....	31
2.2. Способы классификации параметров и характеристик письма, и их особенности, достоинства и недостатки	40
2.3. Кинематическая теория как основная модель хаотических процессов в процессе автоматизированного письма.....	48
2.4. Характеристики тремора и его связь с эмоциональными состояниями.....	51
2.5. Основные исследования связи аффективных состояний с характеристиками письма.....	57
2.6. Вывод к Разделу 2	61

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	63
3.1. Экспериментальный план и процедура.....	63
3.2. 1 этап – удержание заданного усилия в изометрическом условии.....	65
3.3. 2 этап – Удержание заданного усилия с помощью тензодатчика встроенного в ручку	68
3.4. 3 этап – Предъявление стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение во время автоматизированного письма	70
3.5. 4 этап - Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время прохождения лабиринта.....	73
3.6. 5 этап - Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время автоматизированного письма.....	75
3.7. Описание аппаратной части	77
3.7.1. Модуль регистрации и анализа физиологических показателей.....	78
3.7.2. Модуль регистрации и анализа тензотреморограмм.....	81
3.8. Анализ данных	84
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	92
4.1. Результаты 1-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия в изометрическом условии».....	92
4.2. Результаты 2-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия с помощью тензодатчика встроенного в ручку».....	98
4.3. Результаты 3-го этапа эксперимента «Предъявление стимулов, вызывающих эмоциональное напряжения во время автоматизированного письма».....	103

4.4. Результаты 4-го этапа эксперимента “Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время прохождения лабиринта”	107
4.5. Результаты 5-го этапа эксперимента “Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время автоматизированного письма”	112
4.6. Обсуждение результатов исследования	114
Заключение	124
Список сокращений и условных обозначений.....	127
Список литературы.....	128
Приложение	150

Введение

Актуальность. В современной науке тема автоматизации письма поднималась неоднократно на протяжении последних десятилетий, однако существующий в науке взгляд на текущий момент представляется в значительной мере теоретическим, а немногочисленные практические исследования, которые проводились на эту тему, обычно представляют собой либо исследования на больных Паркинсоном, зачастую не включающие группы здоровых испытуемых даже в качестве контрольных, либо концентрируются на кинематических характеристиках, используя данные почерка как основной источник данных для анализа.

Экспертные методы оценки психофизиологических состояний по кинематическим факторам в существующей почерковедческой практике используются постфактум. Такое положение дел приводит к тому, что для понимания связи кинематических и динамических характеристик почерка с психофизиологическими проявлениями эмоциональных состояний в режиме реального времени необходимо проведение дополнительных исследований.

Большие перспективы в этой области открывает использование машинного анализа и математического анализа на базе интеллектуальных информационных систем: так, М.В. Фаликман, говоря о развитии современных информационных технологий в области исследования письма, полагает, что: «они открывают новые возможности для анализа таких характеристик и особенностей почерка, которые ранее были труднодоступны для изучения – прежде всего, его процессуальных, динамических характеристик» [54].

Начальной точкой отсчета для изучения состояний человека по характеру его письма следует считать изучение моделей самих этих состояний и выбор наиболее подходящей для описания.

На сегодняшний день существует множество моделей, описывающих возбуждение как состояние человека [42, 131, 180, 193, 207, 211], однако консенсус

на эту тему до сих пор не достигнут. Одни модели выделяют несколько компонентов возбуждения с разными механизмами и принципами работы, другие говорят о том, что возбуждение является нормальным состоянием человека в процессе жизни и заниженный уровень возбуждения может быть также вреден, как и завышенный. Существуют также представления о возбуждении как следствии неудовлетворенных потребностей [34, 49], однако все эти представления не объединены единой теорией, обладающей достаточной предсказательной силой.

Исходя из этого необходимо рассмотреть более комплексные модели эмоций не только с позиций возбуждения-расслабления, но и относительно стимулов различной валентности, вызывающих эти эмоции. Такие модели также активно разрабатывались и продолжают разрабатываться в настоящее время.

Так, существует обширный корпус исследований относительно реакции человека на эмоциональные стимулы и соответствующее эмоциональное возбуждение, однако во многом эти исследования друг другу противоречат или не до конца раскрывают механизмы этой реакции. Так, одной из активно изучаемых тем является реакция на негативные стимулы и соответствующее изменение в движениях человека. На эту тему написано несколько экспериментальных работ, однако их результаты взаимоисключают друг друга.

По данным одних работ, при воздействии негативного стимула у человека возникает реакция замирания и ожидания атаки [71, 118, 208]. Эта реакция характеризуется уменьшением подвижности и уменьшением пульса. В то же время, другие исследования говорят о том, что при воздействии негативного стимула – напротив, увеличивается подвижность и вариация силовых движений [76, 86, 87].

Эта неопределенность, в свою очередь, является критической для определения характера и механизма воздействия эмоционального стимула на человека, и, возможно, её прояснение могло бы также внести ясность в многие другие вопросы взаимодействия эмоций человека и его движений.

Другим важным вопросом при изучении письма, как маркера состояния пишущего, является автоматизация письма как навыка, поскольку различные внешние и внутренние факторы, влияющие на него, могут вызывать

деавтоматизацию. Определение этой деавтоматизации по записи или иным показателям может оказаться весьма полезным в определении состояния пишущего.

Исследования механизма автоматизации движений также проводятся довольно давно – основоположником этой концепции был еще Н.А. Бернштейн, и, хотя представления о механизмах и характерах автоматизации движения постоянно эволюционируют, пополняясь новыми данными, основные идеи, заложенные еще в начале XX века, остаются неизменными и дают хорошую опору для современных исследователей [9, 27, 28, 55, 56].

В частности, именно на эти работы опираются исследователи [6, 16, 32, 44, 59, 66], которые проводят связи между уровневой моделью Н.А. Бернштейна и наблюдаемым процессом письма, что позволило разделить процесс письма на различные уровни и, более того, выявить характерные методы и причины деавтоматизации письма в том или ином случае для каждого из уровней модели.

Так, из работ самого Н.А. Бернштейна и дальнейших исследований становится очевидно, что автоматизация, как явление, опирающееся на более низкие уровни построения движения, может происходить как на том уровне, где происходит сам процесс (например, уровень E для письма), так и на уровнях ниже, на афферентации которых были переключены координационные коррекции этих уровней. В таком случае нарушение работы любого из этих уровней приведет к деавтоматизации выученного навыка.

Соответственно, изучение сбивающих факторов необходимо проводить комплексно и широко, чтобы четко различать воздействие сбивающего фактора на уровень построения движения, на котором происходит действие и воздействие его на более низкие уровни, связанные по принципу переключения. Хорошим критерием такого разделения могут стать выделенные Н.А. Бернштейном основные внешние факторы, вызывающие сбивание на каждом из уровней (так, например, для уровня B изменение скорости движения является излишней вариацией, в то время как уровень C крайне устойчив к подобным изменениям) [9].

Внутренние же сбивающие факторы изучены относительно слабо и в основном опираются не на психологическое состояние человека в момент написания, а на изменения его психофизиологических особенностей, вызванных изменением состояния его организма. Так, хорошо изучено влияние алкогольного опьянения на автоматизацию различных уровней движения, и описан характер деавтоматизации [60].

Однако, несмотря на такое широкое исследование автоматизации как процесса, тремор как фактор, влияющий на автоматизацию письма, не рассматривается современной наукой в достаточном объёме, ограничиваясь исследованием деавтоматизации письма у больных Паркинсоном, что, хотя и является интересной и практически применимой темой научного исследования, не покрывает сферу исследования тремора и автоматизации письма полностью.

Более того, большой интерес вызывает идея об автоматизированном определении наличия или отсутствия эмоционального напряжения у человека в режиме реального времени, в разных условиях сбора данных и подачи стимулов, а также возможность скрытного и дистанционного изучения этих характеристик. И хотя общее представление о том, что такое изучение возможно, в целом не подвергается сомнению, в то же время, полноценно рабочих методик такого исследования появляется мало, и даже из них крайне малый процент доходит до реального практического воплощения.

Наибольший прогресс в этом направлении происходит или при использовании проверенных методов психофизиологии, или с использованием новых технологий искусственного интеллекта. В первом случае автоматизация такого исследования больше похожа на упрощение применения математического аппарата, второй вариант, с одной стороны, открывает определенные горизонты для работы, а с другой, уводит науку от понимания причин и следствий того или иного явления, заменяя привычные паттерны научного исследования на слепой подбор параметров модели искусственного интеллекта [107, 215]. Анализировать и проверять решения такой модели постфактум принципиально невозможно, поскольку даже простейшие из них, способные различать эмоции человека, состоят

из слишком сложного математического аппарата, чтобы его можно было проанализировать в каждом конкретном случае без использования дополнительных слоёв абстракции и потери, таким образом, конкретных деталей.

Объект исследования – деавтоматизация письма и её характер при воздействии эмоционального напряжения.

Предмет исследования – связь эмоционального напряжения по показателям вегетативной нервной системы и изменений тремора по данным тензотремографии в процессе автоматизированного письма.

Цель исследования – изучить влияние эмоционального напряжения в процессе автоматизированного письма на тремор как фактор его деавтоматизации.

Была выдвинута **общая гипотеза** о том, что тремор и его изменения могут служить индикатором наличия эмоционального напряжения в процессе письма.

Частные гипотезы:

1) **гипотеза о наличии значимых отличий** в треморограммах, снимаемых в покое и в состоянии эмоционального напряжения в условии изометрического удержания усилия.

2) **гипотеза о наличии сходных изменений** тремора усилия при изменении условия, в котором выполняется удержание усилия («штативный захват ручки»), в сравнении с изометрическим условием, в процессе предъявления эмоционально значимых стимулов.

3) **гипотеза об изменении характера тремора** как одной из силовых характеристик письма при возникновении состояния эмоционального напряжения.

4) **гипотеза о деавтоматизации письма при воздействии негативных стимулов**, как маркере наличия такого воздействия на пишущего по результатам анализа почерка или записей тензотремографии.

Соответственно цели и гипотезам исследования сформулированы **задачи исследования:**

1) Провести научный обзор исследований, посвященных эмоциональному напряжению и его компонентов, а также теорий построения

письменного акта и его характеристик. В частности, провести исследование существующих научных представлений об эмоциональном напряжении, эмоциях и стрессе как его компонентах, сформулировав в итоге рабочее определение эмоционального напряжения. Исследовать компоненты и характеристики почерка, использование тремора как показателя в исследованиях письма и связь письма с эмоциональными состояниями.

2) Провести сравнительный анализ особенностей и силы данной связи в условиях задействования разных групп мышц, а также разных источников эмоционального напряжения.

3) Разработать и апробировать методику исследования эмоционального напряжения человека на основе данных тензотремографии в процессе автоматизированного письма.

4) Исследовать характер влияния негативных эмоций на автоматизацию навыков на уровнях С и Е по Н.А. Бернштейну и определить наличие и степень деавтоматизации при воздействии различных негативных стимулов.

Предлагаемый в данной работе подход к изучению предметной области и предмета исследования коренным образом отличается от уже существующих работ использованием новой методики тремографии в процессе письма, что позволяет открыть новый сценарий использования тремора как признака наличия или отсутствия эмоционального напряжения, а также использованием авторской концепции компонентов эмоционально значимого стимула как фактора, влияющего на эмоциональное состояние и реакции человека под воздействием такого стимула.

Методолого-теоретическую основу исследования составили: Теория функциональных систем П.К. Анохина, теория уровневого построения движений Н.А. Бернштейна, стохастическая модель оптимизированных движений Мэйер и Смита, трехмерная модель эмоциональных состояний Д.В. Люсина.

Степень научной разработанности проблемы

Ряд исследований посвящен изучению стрессовых состояний и их влияния на человека, в частности работы Г. Селье, Л.А. Китаев-Смык, К.В. Судаков, Ю.В.

Щербатых, Г.Г. Аракелов, Е.А. Юматов, J. Campbell, G. Fink и других. Эмоциональным состояниям посвящены исследования Н.Н. Данилова, Д.В. Люсин, L.F. Barret, P. Ekkekakis, P. Ekman, R.S. Lazarus, R. Plutchik, K.R. Scherer и других

Вклад в изучение письменного акта внесли работы Н.А. Бернштейн, А.Р. Лурия, М.М. Безруких, О.Ю. Крещенко, А.Н. Корнев, А.А. Корнеев, Л.С. Цветкова, В.Ф. Орлова, Ю.В. Микадзе, В. Baur, G. Luria, S. Rosenblum, S. Palmis, R. Plamondon и других. Реакции письма в процессе предъявления эмоционально значимых стимулов исследовали А.Е. Сулавко, А.Е. Сомотуга, Е.А. Шкоропат, Н.У. Yatbaz, M. Erbilek, Y.B. Ayzeren, M. Faundez-Zanuy, L. Likforman-Sulem и другие.

Изучению феномена и процесса тремора в теле человека посвящены работы В.С. Гурфинкель, Я.М. Коц, М. Л. Шик, Н.А. Бернштейн, Л.В. Волнухина, Р.М. Гимазов, О.Е. Дик, А.Д. Ноздрачев, И. А. Иванова-Смоленская, J.F. Daneault, T. Novak, K.M. Newell. Реакции тремора на стресс и эмоционально значимые стимулы изучали А.Ю. Александров, В.М. Девишвили, В.М. Еськов, Е.А. Christou, S.A. Coombes, R.L. Blakemore.

Методы исследования

Теоретическую базу диссертационного исследования составили труды отечественных и зарубежных авторов в области изучения стресса, эмоциональных состояний, тремора и письменного акта. В работе использован новый метод оценки эмоционального напряжения с помощью ручки, оснащенной датчиками для снятия тензотремографии, а также датчиками фотоплетизмографии и электрической активности кожи. Методика измерения максимального произвольного сокращения. База эмоциональных изображений COMPASS.

Для обработки и анализа данных применялись критерий Эпса-Синглтона, библиотека для анализа физиологических данных Neurokit2, t-критерий Стьюдента.

Научная новизна

1) Расширены существующие методики анализа эмоционального напряжения человека путём введения данных тензотремографии как дополнительного показателя.

2) Предложена методика оценки эмоционального напряжения человека по данным тензотремографии.

3) Введено понятие о компоненте угрозы в составе негативного эмоционального стимула как критерии различия реакции на такой стимул.

4) Показано наличие и характер деавтоматизации на уровнях С и Е по Н.А. Бернштейну при демонстрации негативного эмоционального стимула.

Характеристика выборки

В первых трех этапах исследования принимало участие 50 человек (28 мужчин и 22 женщины, средний возраст = 23 +/- 2,4 года, 8 левшей и 42 правши). В 4-5 этапе принимали участие 50 человек (21 мужчина и 29 женщин, средний возраст – 22 +/- 1.8 года, 9 левшей и 41 правша). Всего в исследовании приняло участие 100 человек.

Каждый из испытуемых заполнял бланк добровольного согласия на исследование и обработку персональных данных, а также предоставлял информацию об отсутствии болей или травм верхних конечностей, предшествующих или текущих неврологических, или психиатрических расстройств. Испытуемым была предоставлена информация о целях, методах, побочных эффектах, возможном риске, продолжительности и ожидаемых результатах исследования. Было сообщено, что гражданин имеет право отказаться от участия в исследовании на любой стадии. В качестве объекта исследования не принимали участие дети или другие уязвимые группы людей.

Теоретическая значимость

Было предложено новое рабочее определение эмоционального напряжения, основанное на обширном анализе текущего состояния представлений мировой науки о моделях эмоций, принципах их классификации, а также существующих концепциях психологического и эмоционального возбуждения.

Показана связь между эмоциональным напряжением и изменением силы и амплитуды тремора в процессе автоматизированного письма. Было исследовано противоречие между работами относительно реакции испытуемых на негативный эмоциональный стимул и предложено объяснение данного противоречия путем

введения концепции компонента угрозы в эмоциональном стимуле. На основании этой концепции изучена реакция на стимулы с компонентом угрозы и без и проанализирован характер деавтоматизации на уровнях С и Е по Н.А. Бернштейну при предъявлении таких стимулов.

Практическая значимость

Предложена новая методика автоматизированного определения наличия эмоционального возбуждения по данным тензотремографии в процессе письма, а также программноаппаратный комплекс, реализующий данную методику.

Данная работа является важным шагом по направлению к разработке и внедрению системы детекции скрываемой информации и психологического состояния пишущего в процессе письма на основе выявленной связи и разработанного программно-аппаратного комплекса.

В образовательных целях определение эмоционального напряжения в процессе письма несет большую ценность для отслеживания и формирования состояния учащегося в процессе обучения.

Надежность и достоверность полученных результатов обеспечена использованием методов регистрации, обработки и анализа данных, соответствующих предмету и задачам исследования, а также организацией экспериментов в соответствии со стандартами экспериментальной психологии.

Положения, выносимые на защиту

1) Демонстрация эмоционально значимых стимулов, вызывающих отклик по данным электрической активности кожи (ЭАК) и фотоплетизмографии (ФПГ), вызывает также увеличение амплитуды и силы тремора на частотах 8 – 16 Гц как в ситуациях изометрического удержания, так и в процессе письма.

2) При демонстрации позитивно и негативно значимых эмоциональных стимулов и резкого звука как аверсивного стимула, амплитуда тремора значительно возрастает по сравнению с ситуацией демонстрации нейтральных эмоциональных стимулов и отсутствием демонстрации стимулов вообще.

3) Негативные эмоциональные стимулы могут быть разделены на содержащие и не содержащие компонент угрозы. Содержащие компонент угрозы

стимулы вызывают реакцию замирания и соответствующее уменьшение амплитуды тремора, не содержащие вызывают реакцию возбуждения и соответствующее увеличение амплитуды тремора.

4) Негативные стимулы вызывают деавтоматизацию процесса письма, однако степень этой деавтоматизации различается в зависимости от наличия компонента угрозы и уровня, на котором происходит деавтоматизация. Уровень С1 менее устойчив к стимулам, содержащим компонент угрозы, чем к не содержащим, в то время как для уровня Е наблюдается большая деавтоматизация при демонстрации не содержащих компонент угрозы стимулов.

5) Эмоционально значимые позитивно и негативно, а также аверсивные стимулы вызывают деавтоматизацию на уровне А, которая характеризуется увеличением амплитуды тремора.

Личное участие автора в получении результатов исследования

Автором проведен самостоятельный анализ отечественной и зарубежной литературы по проблематике эмоционального напряжения, письменного акта и тремора. Проанализирована степень разработанности методов оценки эмоционального напряжения в процессе письма. Автор принимал участие в сборке программно-аппаратного комплекса для оценки эмоционального напряжения в процессе письма. Автором разработан экспериментальный план исследования, осуществлен сбор выборки, сбор эмпирических данных и их статистическая обработка.

Апробация результатов работы

Результаты обсуждались на заседаниях кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова (2019 – 2021). Основные положения и результаты исследования докладывались на:

1) Всероссийской Конференции: Межведомственная научно-практическая конференция «Кадровое и психологическое обеспечение в системе Следственного комитета Российской Федерации». Тема доклада: Рассмотрение современных психофизиологических методов детекции скрываемых знаний.

Основные проблемы и возможные пути решения. Россия, Санкт-Петербург, Академия следственного комитета РФ, 31 октября – 1 ноября 2019.

2) На международной конференции «World Congress of Psychophysiology 2021», тема доклада: The New Device for Studying the Psychomotor Components of Writing, 7-11 сентября 2021 г.

3) На конференции «История, современность и перспективы развития психологии в системе Российской Академии наук: Международная юбилейная научная конференция, посвященной 50-летию создания Института психологии РАН», тема доклада: Использование показателей тремора в фундаментальных и практико-ориентированных психофизиологических исследованиях, 16-18 ноября 2022 г.

Соответствие темы диссертационного исследования паспорту специальности ВАК

Исследование выполнено в рамках пункта 6 «Функциональные состояния человека, эмоции, стресс и адаптация», а также пункта 14 «Прикладная психофизиология. 5.3.2 Психофизиология».

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, списка литературы и приложения. Текст диссертационной работы изложен на 158 страницах и включает в себя 32 рисунка и 7 таблиц. Список литературы включает 220 публикаций, из них 61 – на русском языке, 159 – на английском языке.

ГЛАВА 1. ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ КАК ФЕНОМЕН, ТЕОРИИ И КОМПОНЕНТЫ

1.1. Терминологические особенности идеи об эмоциональном напряжении

Хотя первые исследования эмоционального напряжения проводились ещё в конце XIX века, активное развитие эти исследования получили относительно недавно. Роль эмоционального напряжения как индикатора эмоционального состояния человека и уровня его стрессового напряжения долгое время не рассматривалась достаточно подробно. Однако, в современном мире с ростом роботизации и уменьшением количества мест низкоквалифицированных работников доля работ и задач, требующих постоянного когнитивного и эмоционального напряжения, быстро растёт. Именно поэтому важность изучения эмоционального напряжения как фактора человеческой ошибки при работе с высокоточными или сложными устройствами значительно возрастает. В то же время, городская и урбанизированная среда создаёт значительное количество постоянных стрессоров, которые также вносят определённый вклад в эмоциональное состояние человека, являясь факторами эмоционального напряжения и связанных с ним ошибок.

Оценка эмоционального напряжения сотрудников в процессе деятельности как фактора выбора тех или иных стратегий поведения компании является важной задачей во многих отраслях деятельности, но наиболее актуальна в тех областях, где цена человеческой ошибки высока. Одной из подобных областей и одновременно характерной задачей оценки эмоционального состояния является отбор персонала: проверка на полиграфе для отбора кандидатов на службу в подразделениях специального назначения, оценка рабочего состояния специалистов, работающих с оборудованием высокой сложности и/или повышенной опасности рабочего процесса, формирование маркетинговых и

рекламных стратегий в качестве характеристики реакции потенциального реципиента и в составе оценки стратегии с помощью фокус-групп.

В настоящее время широкого научного консенсуса по определению эмоционального напряжения нет не только в отечественной, но и в мировой научной среде, и, более того, те немногочисленные определения, которые используют различные авторы, зачастую либо противоречат друг другу, либо применимы в узких сценариях, характерных для области научных интересов конкретного автора или группы авторов. Это приводит к необходимости конкретизировать, какое именно определение используется в рамках той или иной научной работы, поскольку это определение может включать в себя множество разных понятий, таких, например, как эмоциональный стресс, возбуждение или эмоциональное напряжение.

В работе С.Н. Кульбы есть указания на то, что эмоциональное напряжение может рассматриваться с двух позиций. Одна из них – это функциональное состояние, в случае, когда рассмотрение происходит относительно шкалы бодрости. Другая – определение эмоционального напряжения как системной реакции организма, применяемое для прослеживания динамики конкретного физиологического показателя [37]. Однако, точного определения также не дается, что не позволяет опираться на эту работу как на полноценный источник определения.

Другие авторы [5, 11] для описания состояния нервно-эмоционального напряжения используют категории физиологических маркеров, говоря о том, что в качестве объективного признака и, более того, первого проявления такого напряжения служит экстренное выделение и повышение уровня катехоламинов (имеется в виду в первую очередь адреналин и норадреналин) в крови.

Поэтому попытка дать строгое определение осложняется тем, что оно рассматривается как с физиологической, так и с психологической стороны процесса, что при одинаковом термине подразумевает различные трактовки.

1.2. Развитие понятия о стрессе и эмоциональном напряжении

Таким образом, эмоциональное напряжение рассматривается с совершенно разных позиций и точек зрения. Говоря о них, необходимо отметить точку зрения Ганса Селье, который ввёл понятие стресса в его современном понимании и внёс огромный вклад в его изучение. Понятие стресса по Г. Селье часто включается в понятие об эмоциональном напряжении. В одной из последних работ он приводит следующее определение стресса: «стрессом называется неспецифическая реакция организма на любое предъявляемое к нему требование» [47, с. 15]. Однако, для исследования эмоционального напряжения такое определение малофункционально, поскольку крайне широко и не позволяет выделить его инструментальные характеристики.

Дальнейшим развитием этой идеи является определение эмоционального стресса как первичной эмоциональной реакции на действие стрессоров. Под стрессором понимается «внешний или внутренний стимул, который может запустить реакцию борьбы или бегства» [3, с. 329].

Это определение даёт большую свободу для изучения феномена эмоционального напряжения, поскольку, с одной стороны, включает эмоциональную реакцию как часть определения, а с другой – предлагает характеристику с помощью комплекса неспецифических вегетативных и гормональных проявлений. Заметим, однако, что стресс, в том числе эмоциональный, обычно описывается как проблема в ключе его дезадаптивных, а потому негативных для человека аспектов [12, 52, 140, 220].

В то же время стресс также обладает и адаптивной функцией, которая, по меньшей мере, так же важна, а, возможно, более интересна и полезна, чем дезадаптивные аспекты.

Развитие научной области привело к тому, что эмоциональный стресс как элемент понятийного аппарата претерпел некоторые изменения, и, говоря о современном представлении об эмоциональном стрессе, можно сформулировать

его определение как связанной с неспецифическими, ярко выраженными изменениями коррелятов стресса (в первую очередь, электрофизиологических и биохимических) первичной эмоциональной реакции индивида [51, 61, 103].

Здесь необходимо отметить, что концепция отделения стресса общего от стресса эмоционального имеет различные позиции – так, Ю.И. Александров высказывает мнение о том, что неверно на глубинном уровне разделять эмоциональный стресс и стресс как таковой: «Хотелось бы думать, что встречающиеся все же многочисленные прилагательные типа «психоэмоциональный» и др., видимо, употребляются некоторыми авторами для того, чтобы подчеркнуть природу стрессоров или способов вызова стресса, а не для выделения каких-то особых уровней протекания или новых механизмов стрессовых реакций человека» [3, с. 331].

Здесь необходимо уточнить, что эмоциональный стресс как понятие не тождественен эмоциональному напряжению. Хотя он и играет свою, довольно значительную, роль в определении эмоционального напряжения, есть и значительные отличия. Так, в генезе состояния эмоционального напряжения первичны процессы эмоциональные, а не физические, в отличие от состояния эмоционального стресса.

Эту точку зрения поддерживают экспериментальные данные, получаемые при сравнительной оценке субъективных оценок состояний испытуемых и объективных маркеров этих состояний, в основном, физиологических характеристик. Проведенное в 2012 году исследование [82] показывает, что при исследовании связи между субъективной оценкой испытуемым воспринимаемого им уровня эмоционального стресса и измеренным уровнем кортизола как объективным маркером уровня стресса, корреляция была найдена примерно в 25% случаях.

Исходя из этого, при рассмотрении эмоционального напряжения необходимо обратить внимание на концепцию психологического стресса, предложенную Р. Лазарусом, в которой на первое место при возникновении стресса ставятся именно психологические факторы.

Он проводит различие между 3 типами психологического стресса: вред и/или утрата, угроза и вызов, и утверждает, что оценки, связанные с каждым из них, различны, так, вред/утрата связаны с ущербом или потерями, которые уже произошли; угроза имеет отношение к ущербу или потерям, которые ещё не произошли, но возможны или вероятны в ближайшем будущем; вызов состоит из чувства, что, хотя трудности стоят на пути к успеху, они могут быть преодолены с помощью смелости, настойчивости и уверенности в себе. Каждый из этих видов стресса преодолевается по-разному и имеет различные психофизиологические и производственные результаты [137].

Сочетая две этих концепции, можно получить более строгое понятие об эмоциональном напряжении, не приравнивая его ни к эмоциональному стрессу, ни к стрессу физиологическому, а выделяя в отдельное понятие.

1.3. Концепция аффекта и его компонента возбуждения во взаимосвязи с концепцией напряжения

Близко к концепции эмоционального напряжения лежит концепция аффекта и его компонента возбуждения, которая была рассмотрена В. Вундтом, как часть шкалы напряжения-расслабления, на основе физиологических данных. Он использовал пульс и дыхание как метрики наличия или отсутствия той или иной качественной характеристики эмоции и показал, что определенным качественным особенностям соответствуют определенные изменения пульса и дыхания. Однако, как отмечал сам автор, практически эта концепция малоприменима, поскольку соответствующие изменения характерны для эмоций в чистом виде, в то время как в реальном мире обычно имеет место некоторая смесь эмоций, для которой определить эти изменения крайне затруднительно.

Более того, более поздние работы также подвергали критике концепцию В. Вундта, показывая, что с одной стороны шесть эмоциональных полярностей не

являются независимыми друг от друга, что не позволяет их отделять и исследовать по отдельности, а с другой – сама концепция возбуждения-успокоения и напряжения-разрешения неполна, поскольку подразумевает, что они являются элементарными субъективными состояниями, подобно удовольствию-неудовольствию [42].

Экспериментально в дальнейшем также было показано, что строго закономерного соответствия между эмоциональными состояниями и изменениями пульса и дыхания не наблюдается, что приводит к необходимости изучения эмоций как более комплексного явления, чем набор параметров возбуждения-успокоения и напряжения-разрешения.

Интересным взглядом на проблему является предположение о наличии набора универсальных эмоций, предлагаемое теорией дискретных категорий [95]. Данная теория говорит о том, что есть набор универсальных эмоций, которые являются врожденными и имеют, для каждой, нейронный субстрат. Однако на сегодняшний день эта теория однозначно доказана не была, хотя существуют определенные исследования [156, 166] относительно связи базовых эмоций с работой определенных структур мозга. Также, впрочем, существуют и исследования, показывающие обратное [73].

Компонентно-процессуальная модель эмоций, предложенная К. Шерером, рассматривает эмоции как синхронизацию различных когнитивных и физиологических компонентов. Согласно данной модели, эмоции можно отождествить с общим процессом, запускаемым низкоуровневыми когнитивными оценками, в частности обработкой значимости, которые в свою очередь инициируют телесные реакции, поведение и субъективные переживания [183].

Другой, не менее интересный взгляд, предлагают теории измерений. Здесь предлагается взгляд на аффекты, как сочетание двух или более независимых измерений (в простейшем варианте ими являются возбуждение и валентность). Важной частью теории является принципиальная ортогональность этих измерений в аффективном пространстве [180]. Здесь аффекты определяются как всегда доступное сознанию в виде простого до примитивности неререфлективного чувства

нейрофизиологическое чувство, наиболее очевидное в настроении и эмоциях. [94, с. 322].

В наиболее ранней трехмерной модели измерения аффекта Рассела и Мехрабяна выделялись следующие 3 оси: валентность, возбуждение и доминирование. Впоследствии от фактора доминирования отказались, поскольку был небольшой процент объяснённой дисперсии [181].

Двухфакторная модель Дж. Рассела является наиболее используемой из-за своей простоты. Факторы возбуждения и валентности получают подтверждения со стороны нейрофизиологических и психофизиологических исследований. Авторы модели Дж. Рассела понимают возбуждение как изменчивость от сна через промежуточные состояния сонливости и затем бдительности до бешеного возбуждения в противоположной крайности. Эмоциональное напряжение не выделяется в данной модели в отдельную категорию [72].

В качестве получения нейрофизиологической основы модели Дж. Рассела ряд авторов провели исследования, в процессе которых доказали наличие отдельных нейронных цепей подкорковых и корковых областей для обработки возбуждения и валентности в структурах головного мозга [78]. Дополнительным подтверждением являются нейровизуализационные исследования, в которых было показано, что орбитофронтальная и вентральная передняя поясная кора больше реагируют на валентность, тогда как миндалина и передняя островковая кора больше реагируют на возбуждение [88, 141, 170, 214]. Относительно недавним открытием послужили результаты по исследованию специфической активации мозжечка на валентность и возбуждение. Они показывают, что возбуждение, валентность и их взаимодействие обрабатываются разными долями мозжечка параллельно, следуя временной иерархии. Обработка высокого возбуждения происходит первой и с ранней задержкой. За ней следует обработка неприятной валентности, а затем взаимодействие приятной и высокой возбудимости [190].

При рассмотрении компонентов возбуждения и валентности в субъективном опыте испытуемых было обнаружено, что постулирование сильной универсальной связи валентности и возбуждения не информативно, что, в свою очередь,

исключает приравнивание возбуждения к интенсивности аффекта. Поэтому авторы рекомендуют воздержаться от универсальных утверждений, а вместо этого серьёзно относиться к индивидуальным различиям при изучении структуры аффекта и его роли в других психологических явлениях [133].

Другая двухмерная модель аффекта, выдвинутая Д. Уотсоном и А. Теллегеном, предполагает измерение позитивной активации и негативной активации. В рамках данной модели факторный анализ не отражал в чистом виде активацию и валентность, поэтому оси данной модели отражали с одной стороны позитивный аффект с высокими значениями активации (например, воодушевление) или позитивный аффект с низкими значениями активации (например, расслабленный), а, с другой стороны, негативный аффект с высокими значениями активации (например, нервный) или негативный аффект с низкими значениями активации (например, сонный) [211]. В данной модели эмоциональное напряжение не выделяется в отдельную категорию и описывается со стороны общей активации.

Данная модель обладает недостатком – названия осей предполагали двухполярность, в то время как сами оси были однополярны. Это могло вызвать путаницу среди исследователей, предполагающих, что люди могут чувствовать себя одновременно и счастливыми, и грустными, хотя сама модель позитивного и негативного аффекта такого предсказания не делает [218].

Напрямую разделять в размерных моделях возбуждение на 2 отдельных вида предложил Р. Тайер [193]. В его модели имеется возбуждение напряженное и энергетическое, причем первое является непосредственно эмоциональным, а вот второе связано с общим функциональным возбуждением всего организма, и вовлекает в психофизиологический сдвиг возбуждающую систему мозга, то есть, активирующую ретикулярную систему ствола мозга и ее прямые проекционные области [38, 155].

Дж. Рассел с коллегами предприняли попытку объединить 4 размерные модели в одну 12-секторную круговую модель аффекта. Модель включала в себя 6 параметров возбуждения в зависимости от полярности и 6 параметров валентности. В результате авторами был составлен опросник из 36 шкал для оценки по каждому

сектору. К ограничениям в использовании данной модели является то, что для использования его в исследованиях необходимо заполнять громоздкий опросник [218]. Данная модель включает в себя эмоциональное напряжение по модели Тайера, что позволяет говорить об актуальности включения в исследования данного компонента аффекта.

Р.Плутчик высказал идею о том, что первичные эмоции могут быть концептуализированы по аналогии с цветовым кругом – похожие эмоции располагаются близко друг к другу, а противоположные эмоции – на расстоянии 180 градусов друг от друга. Таким образом, он расширил модель окружности на третье измерение, чтобы представить интенсивность эмоций; получившаяся структура имеет форму конуса [168].

Е. Кембрия с коллегами разработали песочные часы эмоций. Эта модель представляет аффективные состояния через ярлыки и четыре аффективных измерения: приятность, внимание, чувствительность и склонность [81]. На основе данной концепции была создана векторная модель AffectiveSpace 2 для практического применения в анализе настроения текста [80].

Альтернативную модель с похожими результатами по размерной модели получила Н.Н. Данилова, в которой имеется три оси группового пространства текста: шкала знаков эмоции, эмоциональная активация и неэмоциональная активация. На шкале «эмоциональная активация» отображается интенсивность эмоций, от спокойствия до крайне интенсивных эмоций вне зависимости от валентности эмоции (восторг/ отвращение, радость/гнев, и т.д.) На шкале «неэмоциональная активация» отображается общая готовность к действию, с полюсами, соответственно, в состояниях «уверенность» и «растерянность», причем наблюдается позитивная корреляция между силой эмоции по шкале неэмоциональной активации и эффективностью деятельности [20].

Схожую по структуре модель предлагает Д.В. Люсин, опираясь в своем исследовании на русскоязычную выборку. В его модели присутствуют факторы «Отрицательные эмоции с низкой активацией», «Положительные эмоции с высокой активацией» и «Напряжение». Здесь также выделяется шкала

«напряжение» как отдельная шкала, что перекликается с моделью Р. Тайера. Эта шкала у Д.В. Люсина показывает «психическое напряжение в чистом виде, независимое от валентности» [42, с. 350].

В моделях, основанных на измерениях, встречаются различные описания осей, в которых название «Возбуждение/Arousal» не используется напрямую. А.В. Вартанов и И.И. Вартанова предложили модель, которая является одновременно антропоморфной (отражает субъективное отношение человека) и нейротропной (отражает нейронные механизмы). Эта модель позволяет количественно описать и наглядно представить динамику текущего состояния человека или его эмоционального отношения. Модель включает 4 оси: 1) знак эмоции, 2) достоверность информации (характеризуют удивление и уверенность), 3) притяжение, 4) отвержение (оборонительная реакция), активное (агрессия) или пассивное (страх, затаивание) избегание.

Примечательно, что варьирование параметров четырехмерной гиперсферы позволяет получить соответствие различным моделям эмоциональных состояний и отдельных их характеристик, в том числе возбуждения. Например, проекции осей 1-2, 3-4 и угол между этими плоскостями определяют субъективно переживаемые качества эмоций [207, с. 5]:

- 1) эмоциональный тон (удовольствие-неудовольствие),
- 2) возбуждение – успокоение – угнетение,
- 3) напряжение – разрешение по В. Вундту. В исследовании связи эмоций и цветового восприятия также выделены две базовые оси («Валентность» и «Возбуждение») и две социальные оси («Доминирование» и «Социальное отвержение») оппонентов [131].

Во многих приведенных работах присутствует общая мысль, которая представляется достаточно важной для выделения её отдельно – возбуждение не является единой сущностью, а разделяется на возбуждение, связанное с эмоциональными состояниями, и возбуждение, связанное с общей активацией организма для решения той или иной задачи.

В рамках исследования эмоционального напряжения принципиально важно не включать энергетическое возбуждение в исследование, поскольку этот вид возбуждения не дает характерного для эмоционального напряжения вклада в создание ошибок человеческого характера. Возбуждение в чистом виде не может быть смоделировано в лабораторных условиях и определяется через совокупность факторов аффекта согласно выбранной модели [159].

Идея о включении напряжённого возбуждения в определение эмоционального напряжения на широком уровне пока широкого признания не получила, в частности, поскольку строгого генеза такого возбуждения пока не установлено.

Несмотря на превалирующую роль факторов возбуждающего характера в генезе эмоционального напряжения, исключать роль эмоциональных факторов также нельзя, поскольку это уберет необходимую грань и глубину в определении, сводя его к более простому явлению.

1.4. Взаимосвязь эмоционального напряжения как фактор возбуждения с активационными теориями

Возбуждение, или активация, получило более прочное эмпирическое обоснование благодаря психофизиологическому анализу активации поведения, проведённому Э. Даффи [93], а теории активации получили развитие исследованиями ретикулярной активирующей системы [145], интегрированной серии структур мозга в таламусе, которые были связаны со сном, бодрствованием и общей интенсивностью поведения. Э. Даффи, при рассмотрении эмоций, ввела понятие организменное возбуждение, которое изменяется относительно двух компонентов: направленность и интенсивность

Подход, связанный с общей теорией активации, не характеризует напряжение как отдельное состояние или реакцию, принципиально связанную со

стрессом. Вместо этого эмоциональное напряжение (возбуждение) рассматривается как единое качественное состояние, которое изменяется только количественно [191]. Такой подход включает позитивные функции напряжения, предполагая, что существует некоторый оптимальный уровень напряжения, необходимый для решения проблем и преодоления возникающих в жизни препятствий без продолжительных негативных последствий для организма.

Таким образом, негативным уровнем эмоционального напряжения здесь считается не простое его увеличение, а повышенный либо пониженный его уровень относительно оптимума. Такая закономерность получила название закона Йеркса-Додсона, и, несмотря на то что эмпирически она была подтверждена рядом исследований, известно множество исключений из этого закона [134, 176]. Например, согласно закону, принято считать, что высокое эмоциональное возбуждение всегда вредно, причем не только для здоровья, но и для работоспособности, тем самым линейно снижая эффективность последней, также было показано, что даже очень высокий уровень эмоционального возбуждения может способствовать активности субъекта [68, 139, 216].

При пересмотре закона Йеркса-Додсона и эмоционального возбуждения во взаимосвязи с производительностью исследователи пришли к выводу, что концептуализация возбуждения как одномерного конструкта должна быть отвергнута. Авторы указывают, что «для подтверждения полезности закона Йеркса-Додсона состояния возбуждения должны рассматриваться как специализированные механизмы, созданные для того, чтобы быть функциональными, полезными и выгодными в ограниченном количестве случаев, а не как инструменты общего назначения» [121, с. 432].

При рассмотрении активационных теорий в отечественной литературе появляется концепция функционального состояния. Н.Н. Данилова дает следующее определение функционального состояния – «это особое психофизиологическое явление со своими закономерностями, которое заложено в архитектуре модулирующих функциональных систем и которое проявляется на биохимическом, физиологическом, поведенческом и психологическом

(субъективном) уровне» [19, с. 7]. Такое определение было получено на основе психофизиологических экспериментов и хорошо описывает основные характеристики функционального состояния как концепции.

В функции модулирующей системы входят бодрствование и инстинктивное регуляции поведение, за которую отвечает гипоталамус, входящий в состав лимбической системы. Как известно, лимбическая система также отвечает за эмоциональное состояние, поэтому в литературе представлена связь и разделение влияния возбуждения, как функция модулирующей системы мозга, так и эмоциональный компонент возбуждения, рассмотренный как регулятор поведения [21].

Рассмотренные теории активации и введенные вследствие их развития определения возбуждения сделали большой вклад в расширение понимания современной наукой эмоций и соответствующих эмоциональных компонентов. Относительно уровня активации или оптимума активации имеются противоречивые данные, которые позволяют наметить дальнейшие пути исследований, как с позиции возбуждения, так и эмоционального напряжения.

1.5. Влияние эмоций на характер и генез эмоционального напряжения

Говоря об эмоциях, важно рассмотреть концепцию В.П. Симонова [49], где эмоция представляется как некая сила, которая управляет соответствующей программой действий и в которой зафиксировано качество этой программы. С точки зрения данной теории, предполагается, что "... эмоция есть отражение мозгом человека и животных какой-либо актуальной потребности (её качества и величины) и вероятности (возможности) её удовлетворения, которую мозг оценивает на основе генетического и ранее приобретенного индивидуального опыта" [49, с. 21]. Это утверждение можно представить в виде формулы:

$$\mathcal{E} = -\Pi \times (\text{Ин} - \text{Ис}), \quad (1)$$

где Э – эмоция (её сила, качество и знак); П – сила и качество актуальной потребности; (Ин – Ис) – оценка вероятности (возможности) удовлетворения данной потребности, на основе врождённого (генетического) и приобретённого опыта; Ин – информация о средствах, прогностически необходимых для удовлетворения существующей потребности; Ис – информация о средствах, которыми располагает человек в данный момент времени.

При Ис<Ин эмоция приобретает отрицательный характер, а при Ис>Ин – положительный.

Развитием этой теории является теория Г.И. Косицкого [34], утверждающая, что эмоции появляются в том случае, когда у организма возникает какая-либо задача (потребность, цель), а средств для решения (удовлетворения, достижения) ее оказывается недостаточно.

Таким образом, формула В.П. Симонова некоторым образом трансформируется, и начинает включать в себя, непосредственно, напряжение как результат взаимодействия потребности и нехватки средств к её достижению.

Средства для достижения цели – Ц это информация (умения, навыки, опыт) – И, энергия – Э, время – В. Для достижения любой цели существуют объективно необходимые информации, энергия и время – Ин, Эн, Вн. В случае, если существующие у организма информация, энергия и время меньше необходимых, возникает реакция напряжения – РН, выраженная тем сильнее, чем больше дефицит необходимых ресурсов.

Указанные отношения, по мнению автора, могут быть выражены формулой:

$$РН = Ц(Ин * Эн * Вн - Ис * Эс * Вс), \quad (2)$$

где РН – реакция напряжения, Ц – цель (задача, потребность).

Таким образом, представления, предлагаемые Г.И. Косицким, интегрируют формальный подход Симонова и более актуальные представления об эмоциях и эмоциональном напряжении. В итоге Г.И. Косицкий разделяет напряжение на три стадии, первая из которых способствует достижению цели, вторая вызывает волнение и тревожность, заставляя мобилизовать больше ресурсов на достижение

цели и в то же время создавая определенные негативные последствия для организма, и третью стадию, включающую в себя строго негативные последствия [34].

1.6. Вывод к главе 1

Идея о «полезном» уровне напряжения, способствующем достижению цели, пересекается с идеями об адаптивном оптимальном уровне напряжения, высказанными ранее. Однако вместо закона Йеркса-Додсона, говорившего о негативных последствиях, как занижения, так и завышения уровня напряжения, здесь “полезное” напряжение существует как незначительное превышение нормы, а напряжение ниже нормального не рассматривается вовсе. Г. Селье также разделяет эустресс который мобилизует адаптационные ресурсы организма и дисстресс, который истощает ресурсы, приводя к негативным последствиям [47].

В то же время, представление об эмоциях и эмоциональном напряжении как реакции на недостаточность ресурсов для достижения цели также малофункционально для целей данной работы, поскольку кратковременное напряжение, которое может создаваться в процессе письма, определённо не связано с какими-либо значимыми для индивида целями.

Хотя концепции эмоций, аффекта и стресса в значительной мере пересекаются, особенно при обсуждении моделей эмоционального возбуждения или же напряжения, эти понятия и механизмы необходимо строго разделять.

Исходя из этого, наиболее корректным выбором в качестве основной модели для целей данной работы представляется трехмерная модель эмоциональных состояний Д.В. Люсина [42]. Под эмоциональным напряжением, таким образом, понимается фактор аффекта, обуславливающий активирующую или дезактивирующую функцию эмоциональной реакции на предъявленное условие (стимул).

ГЛАВА 2. ТЕОРИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИСЬМЕННОГО АКТА В СВЯЗИ С ЭМОЦИОНАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

2.1. Процесс письма как сложный психический навык и его автоматизация

Несмотря на активное развитие технологий в современном мире, вытесняющих общение с помощью письма на бумаге, оно еще не скоро пропадет из современной жизни полностью. Многие документы все еще необходимо писать своей рукой – к таким документам относятся протоколы, объяснительные, заявления и другие документы свободной или полусвободной формы заполнения. Кроме того, технология цифрового пера, позволяющая писать и рисовать на компьютере, также поддерживает необходимость в навыках письма. Также важным сценарием использования навыков письма в современном мире все еще является подпись, поскольку это стандартный способ подтвердить какую-либо документально зафиксированную информацию наряду с печатью.

Таким образом, письмо все ещё остается важной частью современного мира, что позволяет опираться на исследования результатов и процесса письма при изучении внутреннего состояния человека как в моменте, так и на определенном протяжении времени. Исследование связи письма как движения и внутреннего состояния, в частности, эмоций, требует более полного изучения связи движения и эмоций в целом, с постепенным уточнением концепций.

Наиболее общей концепцией здесь является письменная речь, развившаяся как функция второй сигнальной системы наиболее поздно в эволюционном смысле. Её выполнение, как навыка, обеспечивает слаженная работа механизма временных связей, и требует явно выраженного обучения. При выполнении акта письма используются зрительно- и двигательно-кинестетические, а также языковые временные связи [39].

В работе А.Р. Лурии («Очерки психофизиологии письма»), письмо делится на набор конкретных операций, к которым относятся, в порядке действия:

– Постановка задачи письма, исходя из побуждающей к письму мысли. Для этого необходимо составить план высказывания, и общую последовательность мыслей. Побуждающая мысль и является основой для структуры предложения, на которую опирается затем пишущий как на механизм валидации корректности написанного в семантическом, синтаксическом и смысловом отношении. Структура формируется на лексическом уровне, что необходимо из соображений того, что и само письмо разбивается по лексемам, а не по более простым или сложным элементам.

– Затем происходит фонематический уровень анализа, на котором для обеспечения корректности написания слова оно дробится на фонемы (с помощью речеслухового анализатора), которые составляют уже его структуру.

– Для корректности написания каждой конкретной фонемы в контексте слова она сопоставляется с графическим образом соответствующей буквы, причем происходит выбор образа (зрительный анализ и синтез) с достаточной точностью, чтобы выбрать букву безошибочно с учетом похожести некоторых графем в некоторых языках, что требует развитых пространственных представлений.

– Затем выполняется непосредственно написание как моторная операция, включающая в себя перенос сформированного на этапе сопоставления графического образа на бумагу с помощью движений руки. На этом этапе также проводится контроль корректности написания как с помощью обратной связи от мышц и рецепторов кожи руки, так и с помощью наблюдения за формой буквы. Такой контроль обеспечивается согласованной работой значительного количества речевых и неречевых функций – здесь происходит анализ корректности структуры слова, предложения, правильности написания буквы, соотнесение её с соответствующим звуком с учетом правильности произношения [41].

В то же время, существует также подход А.Н. Леонтьева к описанию письма, как вида деятельности. В таком подходе, письмо включает в себя три основные части:

- 1) Разложение речи на звуки, то есть, фонемы
- 2) Соотнесение полученных фонем с графическими символами
- 3) Графомоторные операции как процесс переноса выбранных графических символов на лист бумаги.

Здесь каждая из этих частей выполняется независимо от других (не считая использования результатов их работы) и требует наличия соответствующего отдельного навыка [39].

Альтернативный подход, на этот раз описывающий структуру письма как опору для поиска структурных нарушений письма, предлагает Л.С. Цветкова. Модель структуры письма по Цветковой включает следующие части:

- 1) Психологический параметр, включающий в себя следующие звенья:
 - Появление намерения что-то написать
 - Формирование темы письма
 - Формирование из темы письма основной идеи письма
 - Управление письмом и коррекцию возникающих при нем ошибок
- 2) Психолингвистический уровень, необходимый для непосредственного выполнения плана письма, и содержащий следующие этапы:
 - Деление слова на содержащиеся в нем фонемы
 - Использование слухоречевой памяти для получения информации о выбранных звуковых компонентах слова
 - Восстановление графических образов, связанных с этими компонентами, в памяти
 - Соотнесение этих образов с соответствующими им графемами
 - Восстановление в памяти необходимых моторных движений для выполнения каждой из этих графем

- Трансляция полученных наборов моторных движений в единые слитные комбинации элементов движения для написания буквы
 - Непосредственно написание
- 3) Психофизиологический аспект, обеспечивающий реализацию всех операций и действий процесса письма:
- Процесс звуко различения обеспечивается совместной работой речедвигательного и слухового анализаторов
 - Объем восприятия акустических речевых сигналов обеспечивается слуховым анализатором
 - Перекодировка информации с одного психического процесса на другой (со звука на букву) происходит благодаря совместной работе слуховой, зрительной и пространственной анализаторных систем
 - Перекодировка оптического образа буквы в двигательный и в написание буквы осуществляется за счет сложного взаимодействия зрительной и двигательной анализаторных систем [57].

Другое описание акта письма дает П.К. Анохин. Он описывает письменную деятельность как функциональную систему, причем имеющую четкую уровневую организацию. Этот подвид поведенческого акта в общем случае является саморегулирующимся, и при реализации вовлекает различные участки головного мозга и управляемые ими конечности для достижения полезного для организма результата. Ключевой в определении конкретного поведенческого акта, по Анохину, является непосредственно цель выполняемого акта. Как и любая деятельность, письменный акт протекает в два этапа – афферентного синтеза и принятия решения.

Различные психофизиологические состояния могут влиять на процесс афферентного синтеза, задерживая его или приводя к тому, что процесс оказывается неполным – в таком случае включается ориентировочно-исследовательская реакция, определяющая активный поиск новой информации для синтеза [4].

В диссертационной работе Е.А. Шкоропат рассматривается теория П.К. Анохина с точки зрения влияния различных факторов (душевное волнение, алкогольное опьянение и т.д.) на письмо. Данные факторы были объединены в определение «сбивающих факторов» и было показано, что письменный акт как программа действия начинает выполняться с ошибками, когда тот или иной «сбивающий» фактор создает преобразованный акцептор действия в первый раз. В то же время, при появлении таких акцепторов в дальнейшем, происходит реакция приспособления, и программа письменного акта начинает адаптироваться, чтобы выполняться в этих условиях без ошибок [60].

Это является важным фактором при определении влияния эмоционального напряжения на процесс письма, в том числе и автоматизированного, поскольку эмоциональное напряжение определено является сбивающим фактором, что и позволяет говорить о его влиянии на процесс письма в целом.

Важной вехой в исследовании деятельности в целом и письменного акта в частности стала разработанная Н.А. Бернштейном теория уровневого построения движений. Она описывает представление о пяти уровнях построения движения, промаркированных латинскими буквами с «А» до «Е», которые обеспечивают сопряжение органов чувств организма и моторных центров, которые позволяют выполнять двигательные акты.

А – уровень палеокинетических регуляций, он же руброспинальный уровень центральной нервной системы.

В – уровень синергий, он же таламо-паллидарный уровень.

С – уровень пространственного поля, он же пирамидно-стриальный уровень. Распадается на два подуровня: **С1** – стриальный, принадлежащий к экстрапирамидной системе, и **С2** – пирамидный, относящийся к группе кортикальных уровней.

Д – уровень действий (предметных действий, смысловых цепей и т. п.), он же теменно-премоторный уровень.

Е – группа высших кортикальных уровней символических координаций (письма, речи и т. п.). Каждый из уровней имеет свойственные только ему моторные проявления, каждому уровню соответствует свой класс движений [8].

При этом человек сознательно управляет действием исключительно на ведущем уровне организации движения, все остальные уровни (фоновые) вовлекаются уже без участия сознания.

При выполнении акта письма уровень «А» выполняет фоновую роль, обеспечивая тонус мышц для поддержания позы, положения рук и других подобных задач. Уровень «В», следующий по иерархии, осуществляет внутреннюю координацию сложных двигательных ансамблей. Его характеризуют следующие качества: способность вести высокослаженные движения всего тела с использованием десятков мышц; способность обеспечивать равномерные и корректные во времени движения; склонность к повторению движений максимально идентично. Для акта письма уровень «В» является фоновым, и служит для обеспечения корректного управления движением, а также обеспечивает сохранение скорости письма и управление уровнем давления на бумагу.

Уровень «С» обеспечивает взаимодействие с органами чувств, то есть, получение и трансляцию информации о мире вокруг. Здесь Н.А. Бернштейн выделяет два подуровня: нижний «С-1», и верхний «С-2». Нижний уровень отвечает за выполнение движений с необходимой точностью, в то время как верхний отвечает за соответствие формы задуманных и реально выполняемых движений. При письме он также уходит в фон, и позволяет писать ровные строки, соблюдать поля текста, ставить подписи, и выполнять письменные акты с учетом особенностей поверхности, на которой пишут, особенностей почерка конкретного человека, положения листа, и других особенностей каждой конкретной ситуации письма.

Уровень «D» заведует организацией действий с предметами. При работе уровня «D» происходит оперирование уже не конкретными моторными действиями, а смыслами предметов, что позволяет соотносить образы букв и слов с моторными действиями, необходимыми для их переноса на лист. Он является

одним из ведущих при письме обеспечивает возможность соотносить смыслы букв и их представление на бумаге, а также отвечает за автоматизацию быстрого письма, с сохранением общих форм букв и особенностей почерка.

Группа «Е» – это уровни, на которых происходит работа уже не с отдельными символами, а со смыслами, содержащимися в тексте. При письме они отвечают за сохранение смысла, написанного при передаче его на бумагу [9, 23].

Полностью автоматизированные операции написания букв или даже целых слогов и слов принято называть оперативными единицами письма (ОПЕП). А.Н. Корнев полагает, что «в процессе усвоения ОПЕП каждой автоматизированной ОПЕП (букве, слогу, слову) соответствует целостная программа, запускаемая и выполняющаяся как единый, связанный, распределенный во времени комплекс операций (кодирования, моделирования и моторной реализации) и моторных команд, не требующий сознательного контроля». Фактически, они автоматизируются каждая отдельно, проходя все три этапа автоматизации при написании:

- 1) Осознанное написание каждой ОПЕП
- 2) Частично автоматизированное написание
- 3) Полностью автоматизированное

Полностью автоматизированная ОПЕП не нуждается в сознательном контроле, он происходит только на уровне смысловой составляющей письма и орфографии[32].

Представления об автоматизации движения по Н.А. Бернштейну расширяет в своей работе Р.М. Гимазов, говоря о том, что, рассматривая двигательный навык в контексте обучения движению, не вполне корректно рассматривать отдельные уровни как принимающие на себя задачу выполнения того или иного навыка в полной мере – следует, скорее, говорить о том, что каждый уровень обеспечивает выполнение разных составляющих навыка (точности, скорости, аккуратности и т.д.). Также автор внедряет современные концепции понимания устройства нервной системы человека, уточняя и дополняя организацию уровней по Н.А.

Бернштейну, в то же время признавая и подтверждая верность основных положений его работ.

Подход, выбранный автором, здесь позволяет взглянуть на концепцию не на уровне проверки отдельных уровней или же функций этих уровней, но глобально переосмыслить и дополнить положения теории автоматизации движений с учетом нового знания, полученного относительно функций нервной системы человека. В рамках данной работы положения, рассматриваемые Р.Н. Гимазовым, представляются важными, как разделяющие дух расширения и углубления представлений, предложенных Н.А. Бернштейном [16].

В рамках данной работы важно отметить высказывание Н.А. Бернштейна о том, что «чем полнее и надежнее освоен двигательный навык, тем шире круг вариантов и осложнений задачи, которые не приводят к дезориентации и деавтоматизации и для решения которых субъект находит у себя адекватные координационные ресурсы» [9, с. 168].

Это говорит нам о том, что высокая степень освоенности и автоматизации движения вызывают более высокую устойчивость к действию сбивающих факторов.

В контексте конкретного уровня автоматизации по Н.А. Бернштейну, в диссертационной работе Е.А. Шкоропат было рассмотрено относительно сбивающих факторов, влияющих на письмо и его автоматизацию. Автор отмечает, что для уточнения механизма действия эмоциональных причин на процесс письма, основной интерес представляют уровни «А» и «С» по Н.А. Бернштейну и влияние на них сбивающих факторов – это связано с тем, что уровень «А» наиболее плотно связан с характером удержания письменных принадлежностей, силой их удержания, и тому подобными мышечными действиями. Подуровень «С-2», напротив, связан с характерными для стандартного процесса письма сбивающими факторами, что позволяет исследовать влияние эмоционального напряжения как разновидности напряжения [60].

Е.А. Шкоропат выделяет характерные для уровней «А» и «С-2» воздействия, вызывающие стабильную деавтоматизацию процесса письма: в уровне «А» это

будет влияние на вестибулярный аппарат и соответствующие шейно-туловищные реакции, и, соответственно, сбивание будет происходить при нарушении позы при письме – повороты, температурные изменения одностороннего характера, а также принудительные изменения позы будут являться сбивающими факторами для этого уровня.

На верхний подуровень «С-2» сильно влияет отвлечение внимания субъекта от письма, причем оно деавтоматизирует не только акты на самом уровне «С-2», но и фоновые уровни, включенные в этот процесс. Манипуляции со зрительным контролем также оказывают сильное сбивающее действие, однако из-за пластичности уровня «С» повторение действий в условиях таких манипуляций позволяет в значительной мере снизить влияние этого вида сбивающего фактора. [60].

Говоря об автоматизации письма, следует также обратиться к вопросу о его составляющих, поскольку очевидно, что деавтоматизация различных уровней вызывается разными по природе «сбивающими факторами» и, следовательно, имеет различные характеры.

Об этом писал и сам Н.А. Бернштейн, говоря о том, что «у каждой фоновой компоненты движения, у каждого из качеств сенсорных коррекций до самого конца остаются свои особенно уязвимые стороны, свои ахиллесовы пяты, по отношению к которым стабильность навсегда задерживается на сравнительно низких уровнях. Это придает явлению сбиваемости и ее факторам черты очень специфической избирательности в зависимости от природы и характера фоновых компонент и коррекций, с одной стороны, и от свойств сбивающих факторов – с другой».

Для более полного изучения автоматизации письма как процесса с точки зрения формирования навыка необходимо рассмотреть письменный функционально-динамический комплекс (ФДК) как сложную структуру навыков. Как отмечает В.Ф. Орлова, письменный ФДК состоит из двух тесно взаимосвязанных, но относительно автономных подсистем: письменноречевой (смысловая и речевая сторона письма) и письменно-двигательной (графическая техника письма) [45].

Функцией письменно-двигательного ФДК является «итоговая реализующая в процессе письма в рукописи программа, содержание которой составляют: зрительно-двигательный образ (модель) исполняемой рукописи (психофизиологический регуляторный компонент) и развернутая система движений, специально приспособленная для реализации этого образа (биомеханический исполнительный компонент)» [45, с. 111]. В состав письменно-интеллектуального ФДК автор включает ощущения, восприятия, мышление, память и др. В рамках данной работы будет рассматриваться преимущественно письменно-двигательный ФДК.

В этом ключе интересны исследования, которые связывают треморную составляющую и нарушения автоматизма в процессе письма. Взаимодействие треморной составляющей и автоматизма письма достаточно хорошо видно на примере страдающих болезнью Паркинсона [9]. Однако, на здоровых испытуемых подобные исследования проводились значительно реже, поскольку определить нарушения автоматизма у них сложнее из-за кратковременности такого нарушения.

2.2. Способы классификации параметров и характеристик письма, и их особенности, достоинства и недостатки

Говоря о выделяемых характеристиках, важно отметить различные модели письма и включенные в них операции в процессе выполнения письменного акта. Модели письма берут начало либо из когнитивной нейропсихологии с анализом ошибок нормальных испытуемых и пациентов с повреждениями мозга [33, 43, 98], либо из области моторного контроля [202].

В модели моторного контроля Ван Гален позиционируется разделение высокоуровневых процессов и низкоуровневых процессов, которые взаимодействуют между собой.

В высокоуровневые процессы входят:

1) Графемный буфер (содержит графемный код, т.е. орфографическую информацию слова)

2) Аллографический накопитель (содержит аллографический код, т.е. формы букв в контексте слога)

3) Аллографический буфер (отвечает за сохранение кода)

4) Буфер графических моторных паттернов (содержащий код графического мотор-паттерна, т.е. последовательность штрихов аллографа)

5) Буфер графически-моторного паттерна

В низкоуровневые процессы входят:

1) процесс запуска движения (устанавливает специфические параметры мышц, например, ориентацию удара, силу);

2) сокращение мышц (нервная передача, активация синапсов и выход внутренней обратной связи);

3) запись и обратная связь [192].

Каждый процесс имеет характерную единицу обработки; получает входные данные от операции, расположенной выше в иерархии, и отвечает за конкретное преобразование этой информации, чтобы сделать ее подходящей для следующего нижестоящего процесса.

В нейропсихологических моделях есть аналогичное разделение, в которые входят как высокоуровневые процессы: орфографическая долговременная (хранит и воспроизводит слова) и рабочая память (хранит и воспроизводит графемы), так и низкоуровневые процессы: моторная долговременная память (хранит и воспроизводит аллографы) и моторная рабочая память (хранит и воспроизводит штрихи) [33, 43, 98].

Точка пересечения данных моделей состоит в том, что процесс построения письменного навыка является иерархичным и разделён на высокоуровневые и низкоуровневые процессы [165].

За процесс письма отвечают моторные программы. Под моторными программами понимаются коды, которые определяют количество основных моторных единиц (штрихов) и их пространственно-временные отношения. В этой

концепции под штрихом понимается «кривая, созданная движением кончика пера по бумаге, которая представлена в системе координат X, Y » [148, с. 1120].

Автоматизация письма достигается путем увеличения скорости выполнения моторных программ (штрихов) и отсутствия сознательного контроля за прорисовки каждого элемента буквы. Частота письма опытного писателя находится на уровне выше 5 Гц [194]. Данный процесс необходим для возможности разделения когнитивных ресурсов на другие процессы. Также для письма необходимыми элементами выступают визуальная и проприоцептивная обратная связь.

Исследования влияния эмоционального напряжения на автоматизацию непосредственно почерка и его взаимодействия с визуальной и проприоцептивной обратной связью, хотя и весьма интересны, выходят за рамки данной работы. Однако, интересно заметить, что существующие исследования сходятся на том, что как с точки зрения анализа технического, так и с точки зрения анализа почерковедческого, в характере письма значительную роль играет ранее упоминавшаяся автоматизация по Н.А. Бернштейну, в частности, уровень С-2.

При управлении движением на него влияют несколько факторов: основные механические свойства мышц и сегментов, нейронные связи, передающие сигналы к сегментам, координация механики и нейронных связей, а также влияние обратной связи из внешней среды, которое значительно усложняет задачи взаимодействия с миром. Принято считать, что объект в пространстве описывается шестью степенями свободы – тремя координатами положения и тремя вращения. Для сравнения, суставы человеческого тела дают в общей сложности 244 степени свободы [30]. Чрезмерное количество степеней свободы человеческого тела относительно среды, с которой оно взаимодействует, является фундаментальной проблемой в моторном контроле, известной как проблема избыточности моторики или проблема степеней свободы, введенная Н.А. Бернштейном [9].

Таким образом, задача описания письма человека, с помощью степеней свободы движения и каких-то производных математических характеристик от описания этих степеней свободы представляется труднореализуемой. Именно по этой причине консенсус в современной науке заключается в необходимости

использовать более сложные характеристики, сочетающие в себе с одной стороны множество более простых, а с другой – ближе находящиеся к смыслу процесса письма, чем к его биомеханике, что позволяет оперировать понятными концепциями при описании каких-то параметров процесса письма и влияния сбивающих факторов на этот процесс.

В то же время существуют два основных подхода к описанию этих параметров, рассматривающих письмо с разных точек зрения:

– Подход технический, описывающий эргономические и технические характеристики письма. Такой подход характерен для технических работ, особенно включающих в себя исследования биомеханики процесса. Зачастую именно эти данные являются необходимыми при разработке протезных приспособлений или, напротив, эргономичных устройств для письма.

– Подход почерковедческий (*forensic handwriting analysis*), описывающий характеристики письма с точки зрения кинетики и кинематики письма. Такой подход более характерен для почерковедческих экспертиз и других направлений, которых процесс письма интересует скорее с позиции изучения конечного результата и процессов, приводящих к его получению именно в том виде, который можно наблюдать.

Исследуя письмо с точки зрения технического подхода, Ван Дремпт и др. [200] вывели следующие эргономические факторы, которые влияют на письмо:

– *понятность* относится к особенностям письменного текста, которые способствуют «читабельности» [179]. Понятность, или как её иногда называют, «разборчивость» часто является той характеристикой, по которой читатели оценивают свой собственный почерк или почерк других людей;

– *скорость* – еще один важный показатель качества почерка. Для того чтобы письмо было функциональным, оно должно быть выполнено в разумные сроки, особенно для таких задач, как написание экзаменационных ответов и запись телефонных сообщений. Скорость письма обычно измеряется как среднее

количество букв, написанных в минуту, или объем текста, созданного за определенное время [114];

– *захват ручки* – это способ держания ручки или расположение пальцев на стержне пишущего инструмента [182]. Здесь упоминается, что захват пера – одна из первых характеристик почерка, которую необходимо оценить в процессе переподготовки. В частности, выдвигается предположение, что наилучшим с точки зрения управляемости письма является т.н. треножный захват, подразумевающий удержание письменных принадлежностей средним пальцем с управлением с помощью большого и указательного [84]. Однако эмпирических данных, подтверждающих эти предположения, практически нет [185]. Более того, более поздние исследования прямо опровергли наличие корреляции между методом захвата ручки и разборчивостью текста на материале оценки десяти различных методов удержания пера [92].

Технические характеристики письма во многом опираются на устройства сбора данных, рассматриваемые в онлайн-почерковедении, которые позволяют фиксировать различные свойства движущейся ручки (или кончика пальца) во время всего процесса письма в реальном времени. Результаты этой фиксации в сочетании с временными метками обычно дают цифровое представление процесса письма с точки зрения устройства оцифровки письма. Например, оцифровывающие планшеты обычно получают следующую информацию:

- положение кончика пера по оси X;
- положение кончика пера по оси Y;
- информация о положении пера на поверхности/в воздухе;
- давление, оказываемое наконечником пера;
- азимутальный угол пера по отношению к поверхности планшета;
- высотный угол (он же угол наклона) пера по отношению к поверхности планшета.

Именно эти характеристики, с периодическим вкраплением производных от них показателей скорости, ускорения и математической обработкой результирующих сигналов и рассматриваются обычно как технические [102].

В то же время, почерковедческий подход рассматривает другие признаки почерка, опираясь иногда на схожие либо те же самые данные, получаемые от устройства оцифровки письма. К этим признакам относят следующие группы:

1) Общие признаки: Степень развития грамматического навыка письма, степень развития лексического навыка письма, степень развития стилистического навыка письма.

2) Частные признаки: наличие устойчиво повторяющихся ошибок, авторская лексика, навыки акцентирования, навыки в использовании символов, сокращений, исправлений.

Проанализировав количество и частоту встречаемости каждого признака в анализируемом образце почерка, эксперт составляет итоговую таблицу, которую иллюстрирует фотопримерами каждого признака. [48].

При исследовании письма для анализа традиционно используется одна из двух групп характеристик: кинематические характеристики, которые получаются из изучения движения кончика пера и позволяют судить о реализации непосредственно процесса письма, и кинетические характеристики, получаемые из измерений каждого пальца в процессе письма, а также параметров их взаимодействия. Принято считать, что кинетические характеристики трудно получить в процессе реального письма из-за трудностей с установкой датчиков измерения силы на перо или ручке с сохранением нормальной эргономики письма [128].

В большинстве случаев для сбора данных о кинематических характеристиках письма используют графические планшеты, и статистические компьютерные методы, позволяющие из данных о координатах кончика пера в каждый момент времени составить скоростные профили и частотно-амплитудные характеристики на каждом участке письма.

Выделяют следующие кинематические характеристики письма, определяя их как типичные при подобном исследовании [153, 194]:

- время, тратящееся на выполнение задачи по написанию участка текста;
- длины отдельных непрерывных участков письма, таких как штрих;
- значения моментальных производных от пройденного кончиком пера расстояния – скорость, ускорение, и дальнейшие производные при необходимости;
- количество ударов или компонентов, извлеченных из этих основных элементов;
- NIV (количество инверсий направления письма) – количество изменений знака ускорения кончика пера за один штрих. Считается, что высокоавтоматизированный навык письма характеризуется минимальным количеством инверсий при письме, вплоть до $NIV=1$ [149];
- коэффициент вариации длительности штриха (%) – характеристика изменчивости штрихов.

Кинетические характеристики в основном представлены давлением на те или иные участки пишущего инструмента и поверхности. Выделяют следующие подвиды давления [126]:

- сила нажатия на стержень ручки;
- давление пера на пишущую поверхность;
- давление руки, лежащей на пишущей поверхности.

В то же время, при обсуждении давления на пишущий инструмент как характеристики, необходимо обратить внимание на работы Рарика и Харриса, которые изучали давление точки на поверхность для письма в зависимости от скорости и разборчивости почерка. Их результаты показывают, что вариации силы имеют более тесную связь с разборчивостью и скоростью письма, чем абсолютное давление точки. Это приводит их к выводу о том, что увеличение скорости приводит к увеличению вариативности приложения силы, что нарушает моторную координацию и негативно сказывается на разборчивости почерка [123, 124].

В данной работе будет использоваться кинетический подход к описанию процесса письма и почерка в процессе автоматизированного письма, поскольку эргономические и технические характеристики приводят к трудностям в выявлении связей между психологическим состоянием индивида в процессе письма и конкретными характеристиками.

Однако, исследование кинетических и кинематических характеристик почерка зачастую сопряжено с рядом проблем, связанных, в частности, с ранее упоминавшейся проблемой количества степеней свободы по Н.А. Бернштейну.

Большинство исследований кинетики почерка сосредоточены на силовых отношениях между поверхностью письма и кончиком пера [199, 210], а также на одномерных силах захвата [126]. В более поздней попытке измерения силы захвата пера исследовалась общая сила захвата, а также специфичность силы захвата цифр с помощью контурных графиков [85]. Однако, представляется, что запись шестикомпонентных сигналов (три компонента силы и крутящего момента) от каждого контакта во время письма имеет решающее значение для исследования механики почерка, поскольку письмо происходит в трёх измерениях и упрощение его неизбежно ведёт к потере данных в процессе измерения. В то же время, запись шестикомпонентных сигналов с технической точки зрения представляет собой значительную проблему, связанную со сложностями разработки специализированного устройства подобного характера, которое, укладывалось бы в привычный форм-фактор ручки с тем, чтобы не нарушать автоматизм письма [128].

Стандартные методики исследования кинетических характеристик включают в себя тензодатчики, которые либо расположены в 3-х контактных местах корпуса ручки, собирая данные о соответствующих силовых компонентах [129, 144], либо используют тензодатчики распределенные по корпусу ручки и дают более информативную картину, но при этом являются более сложными в разработке и использовании, а также интерпретации последующих данных, требуя значительных технических ресурсов и математического аппарата в каждом конкретном случае [74, 110, 125].

Основная тема изучения силовых характеристик в современных исследованиях является скорее клинической, поскольку направлена на лечение и исследование очаговых дистоний кисти (writer's cramp или судорога писателя) [74], а также для исследования детского письма в целях обучения правильному хвату [143, 144].

В то же время, важной точкой рассмотрения, которое не было ранее в полной мере затронуто в предыдущих исследованиях, является исследование нейромоторного шума и треморографических характеристик письма, поскольку они, хотя и не выделяются в числе основных кинетических характеристик письма, но, тем не менее, оказывают значительное влияние на процесс письма.

2.3. Кинематическая теория как основная модель хаотических процессов в процессе автоматизированного письма

Вычислительное моделирование движений при письме было предметом значительного объема исследований в 1990-х годах. Кинематическая теория, как развитие этих исследований, исходит из представления о том, что нервно-мышечная система, контролирующая быстрое движение, состоит из подсистем, соединенных вместе для создания желаемого скоростного ответа. Тогда каждый импульсный ответ от этой локальной системы снова сходится к более крупной глобальной сети систем. Кинематическая теория моторного контроля предполагает, что простое человеческое движение является проявлением синергетического действия сокращений мышц-агонистов и мышц-антагонистов, приводящих к измеряемой скорости движения движущей силы [167]. Фундаментальным свойством принципов минимизации является представление о том, что кривизна движения может быть смоделирована как связь независимых биологических осцилляторов [127]. Локальный импульс мышцы-агониста и мышцы-антагониста отвечает на глобальную сеть импульсных ответов для

достижения желаемой скоростной реакции. В этом смысле каждый импульсный ответ агониста-антагониста можно рассматривать как осциллятор. Представление о том, что мышечные синергии действуют как осцилляторы, является ключевым принципом во многих вычислительных моделях моторного контроля.

Важным и перспективным методом для исследования данных треморографии является методика, предложенная Ван Галеном, и включающая в себя математический аппарат, описывающий процесс письма как некоторую сумму периодических функций [205]. Таким образом, опираясь на представления кинематической теории, Ван Гален открывает новую область в математическом аппарате, позволяющую взглянуть на исследование кинетических характеристик с новой точки зрения.

Для измерения шума, связанного с движением, в экспериментальных заданиях на письмо и рисование Ван Гален и Шомакер разработали метод, основанный на методике анализа спектральной плотности мощности (PSD – power spectral density). Это математический метод, позволяющий выразить энергию, передаваемую временными функциями сигналов движения, в частотной области [204, 205]. Основным допущением для применения метода является то, что такие временные функции представляют собой композицию периодических сигналов различной частоты и мощности. Входными данными для алгоритма спектральной мощности являются записи движений пера на поверхности дигитайзера, который регистрирует положение (электронного) карандаша с высоким временным и пространственным разрешением (например, 100 Гц; 0,2 мм). До сих пор этот метод использовался в основном для определения основных частот в периодическом поведении, таком как ходьба и поддержание вертикального положения [171]. В работе Ван Галена и др., метод спектральной мощности был адаптирован для измерения именно шума движения. Для этого вместо обычных частотных спектров были рассчитаны спектры отклонений. Спектр отклонения был определен как частотный спектр конкретного движения, из которого был вычтен средний спектр по всем повторениям этого движения одним и тем же субъектом. В результате своего исследования авторы смогли показать, что частотные спектры движений

запястья и пальцев по-разному зависят от психомоторных требований. Оказалось, что при увеличении сложности движения (с точки зрения количества различных субдвижений в последовательности) частотные полосы в нижней части спектра шума (1 – 4 Гц) демонстрировали меньшую энергию, в то время как в диапазоне от 9 до 16 Гц энергия увеличивалась. Авторы объяснили снижение энергии в нижних диапазонах петель увеличением нагрузки при программировании. Увеличение в промежуточном диапазоне спектра было объяснено как растормаживание нейромоторного тремора из-за повышенных требований к частям мозга, занятым контролем за текущим выходом [205].

Вторая интересная точка для исследования связана с исследованием концепции нейромоторного шума и его взаимодействия с психологическим состоянием человека. Теория информации К. Шеннона [186], оказала сильное влияние на моделирование перцептивно-моторных процессов [69, 104]. Согласно этой точке зрения, изменчивость результатов деятельности возникает в результате передачи сигнала (двигательной команды) по зашумленному каналу, причем более низкое отношение сигнал/шум дает более высокий уровень изменчивости и, следовательно, снижает пропускную способность канала. Эту идею расширяет теория вариабельности импульсов Р.А. Шмидта и др. [184], которая предполагает, что увеличение вариабельности целевых моторных ответов происходит в результате усиления периферического нервно-мышечного шума. Эта точка зрения также является основным постулатом более современных теорий моторного контроля, в которых снижение вариабельности результатов движения достигается механизмом, который уменьшает [154] или гасит [203] присущий системе нейромоторный шум. В то же время наиболее актуальные исследования ставят под сомнение идею о том, что поддержание мышечного напряжения через повторяющиеся сигналы мышцами является следствием нейромоторного шума в принципе, что добавляет неоднозначности в использование данной теории как основной и хорошо проверенной [157].

Теория о влиянии нейромоторного шума и различной способности его гасить в зависимости от психологического состояния и степени автоматизации процесса

также исследовалась непосредственно применительно к письму. Авторами работы выдвигалась гипотеза, что неопытные писатели менее эффективны в торможении нейромоторного шума. При проведении анализа данных, полученных на материале письма 48 детей, из которых половина писала плохо, по оценке учителя, а половина – хорошо, анализ спектральной плотности мощности показал, что движения почерка плохо пишущих детей были значительно более шумными, чем у хорошо пишущих, с постоянным пиком энергии шума в той области спектра, которая характерна для нейромоторного тремора [201].

Таким образом, исследования треморографических характеристик письма с точки зрения кинематической теории письма в сочетании с идеей о влиянии нейромоторного шума представляется наиболее перспективным направлением исследования влияния эмоционального напряжения на процесс автоматизированного письма. В этой связи необходимо рассмотреть характеристики, которые выделяются при изучении тремора.

2.4. Характеристики тремора и его связь с эмоциональными состояниями

В рамках данной работы взаимодействие эмоционального напряжения и процесса автоматизированного письма будет рассматриваться с точки зрения кинематических характеристик письма преимущественно в рамках треморографии и нейромоторного шума. Тремор – это ритмичное осцилляторное движение, по крайней мере, одной функциональной области тела [36]. Тремор, как и любое другое движение, описывается несколькими классами параметров:

– *Кинематические параметры* – несущие информацию о перемещениях отдельной точки кинематического звена или целого тела человека в трехмерном пространстве. Эти параметры имеют описательный характер и вводятся в виде векторных величин. Наиболее часто описывается геометрическая часть, а также первая и вторая производные движения (Акселерометры, гироскопы и др.).

– *Силовые характеристики* – вызывающие перемещение отдельного кинематического звена или органа в целом. Эти характеристики также описываются векторными величинами, однако их исследование в значительной мере затрудняется тем, что они, возникая, тесно связаны с внешними силами, которые иннервируются мышцами организма (устройства, в которых используются тензо или пьезодатчики).

– *Электромиографические характеристики* – дающие информацию о начале, конце и продолжительности мышечной активности. Их ценность в рамках данного исследования недостаточно полно изучена, поскольку из-за достаточно хаотичной схемы работы мышечной активности, стационарная информация, заключающаяся в этих данных, крайне незначительна в количестве [22, 31, 58].

Также имеется способ определения тремора по письму с помощью цифровой спирограммы. Цифровая спирограмма выполняется путем анализа рисунка, сделанного пациентом на спиральной модели, расположенной на столе дигитайзера. Стол дигитайзера представляет собой поверхность, чувствительную к прикосновению специальной ручки. Для тремор-теста используются модели спиралей Архимеда, которые характеризуются равномерным расстоянием между спиральями. Пациент должен сопровождать модель спирали с помощью ручки, что позволяет регистрировать изменения, возникшие на рисунке в зависимости от тремора. Анализируя изменения в перемещении линий спирали, можно определить интенсивность тремора [31, 151, 172].

При классификации тремора принято выделять две системы классификации тремора, одна из которых опирается на форму его возникновения, а вторая – на причины возникновения. При изучении треморографических данных исследования необходимо четко отделять различные виды тремора друг от друга, поскольку их источник и причины кардинально различаются и, соответственно, различаются данные и следствия из них.

С точки зрения данной работы наибольший интерес представляет физиологический тремор, и способы выделения его компонентов среди общего

сигнала треморографии. Для этого традиционно применяются методики фильтрации сигнала с помощью фильтров высоких или низких частот, а также полосовых фильтров.

В 50-х годах было начато изучение вопроса о причине и соотношении физиологического тремора с частотой альфа-ритма, но в процессе исследований данная причинно-следственная связь не подтвердилась, в частности, снижение альфа-ритма при гипервентиляции не давало аналогичного снижения на частоте тремора [17, 136].

Для определения наличия влияния центральных осцилляций в физиологическом треморе были поставлены эксперименты, в которых испытуемым предоставляли обратную связь по тремору с помощью акселерометра, и они пытались уменьшить амплитуду тремора. В результате испытуемым удалось уменьшить амплитуду тремора [46, 64, 83, 90].

Поскольку физиологический тремор включает в себя также компоненты центрального происхождения, разумно предположить, что влияние на него могут оказывать также эмоциональные состояния. Существуют работы, показывающие такое влияние, причем даже при треморе неврологического генеза. Так, значительное влияние эмоциональные состояния оказали на кинетические характеристики тремора у больных болезнью Паркинсона [138, 174].

Л.В. Волнухина установила, что между двигательными циклами физиологического тремора (движение вверх-вниз) и теппинга (удар-замах) существует временная разница, косвенно характеризующая корково-подкорковый компонент управления изучаемыми ритмическими движениями пальцев [15].

Использование датчиков, измеряющих силу или акселерометров в сочетании с электромиографией (ЭМГ) позволило получить доказательства того, что нормальный физиологический тремор является проявлением различных источников, включая механический резонанс, кардио-баллистическую импульсацию, дыхание, периферические рефлекторные петли и центрально-нейрогенные колебательные процессы [1, 65, 90, 97, 116, 164, 187, 196].

Обычно выбирается диапазон 8 – 12 Гц, так как он характеризует состояние физиологического тремора. Полоса частот 8 – 12 Гц – это устойчивая осциляция физиологического тремора, обнаруженная в ЭМГ, силовом выходе, и записи движений акселерометра, что обычно интерпретируется как шум и негативное влияние на адаптивный двигательный контроль [164]. Предполагается, что источник этих осцилляций локализуется в оливо-церебелло-таламокортикальных путях [116]. Амплитуда этого компонента широко варьирует при нормальном физиологическом треморе. Это же подтверждается данными других исследований, выделяющих центральное и механическое происхождение тремора. Результаты их говорят о том, что частота компонентов тремора, предположительно имеющих центральное происхождение, составляет 8 – 12 Гц [17, 90, 96, 97, 132] и, расширяясь, достигает диапазон 8 – 22 Гц [2, 25, 173, 178].

Значимые различия в амплитуде тремора суставного угла, измеренного на частотах 1 – 3 и 7 – 11 Гц, обнаруживаются при подаче стимулов различного рода – при стрессе когнитивном, стрессе физическом и при ударе током. Это позволяет говорить о треморе суставного угла как о маркере психофизиологического состояния [24].

В исследовании при помощи акселерометра А.А. Александрову удалось получить значимые отличия на частоте 8 – 12 Гц и 17 – 22 Гц по амплитуде. В условии сокрытия информации испытуемыми увеличивалась амплитуда при предъявлении скрываемого стимула [2].

Е.А. Кристоу с коллегами убедительно показали реакцию на авersiveный стимул (электрошок) в виде увеличения мощности тремора на частотах 0 – 2 Гц, при подтверждении реакции на стимул физиологическими показателями. Увеличение проявилось особенно сильно в группе возрастных испытуемых. В то же время, значимых отличий на частотах 8 – 12 Гц обнаружить не удалось [86, 87].

Похожие результаты получили Р.Л. Блэкмор с коллегами, которые проводили исследование на группе здоровых испытуемых и группе больных болезнью Паркинсона. При удержании заданного уровня силы испытуемые получали стимул в виде изображения из базы International Affective Picture System (IAPS),

подтверждения по физиологическим стимулам не проводилось. Была отмечена реакция на стимул в группе больных болезнью Паркинсона, на частотах 0 – 4 и 4 – 8 Гц амплитуда тремора была значимо выше. В то же время, в группе здоровых испытуемых отличий в амплитуде обнаружено не было [75].

Изучение центральных и периферических компонентов двигательной системы, которые переводят эмоциональные сигналы в соответствующее двигательное поведение, все еще мало изучено в аффективной нейронауке. Преодоление этой проблемы имеет решающее значение для понимания и эмпирической проверки теорий эмоций, связанных с действиями [77].

Кроме того, многие исследования из-за различного фокуса и направленности изучаемых аспектов состояний не подтверждают результаты друг друга или же напрямую противоречат им. Так, по данным [75, 86, 87], демонстрация негативных стимулов вызывает реакцию возбуждения, что выражается в увеличении амплитуды тремора и скорости действий испытуемого. Аналогичные результаты получили в исследовании, где демонстрируется, что в зависимости от задачи (притянуть к себе предмет или оттолкнуть его от себя) демонстрация негативного стимула может вызывать как увеличение, так и уменьшение скорости выполнения задачи, однако, так или иначе реакция замирания в процессе эксперимента замечена не была [100].

В то же время, другие работы [71, 118] показывают, что демонстрация негативных стимулов вызывает, напротив, реакцию замирания, характеризующуюся резким падением амплитуды раскачивания тела, снижением частоты сердечных сокращений (ЧСС) и общим уменьшением уровня двигательной активности. Реакция замирания хорошо известна и описана как феномен; также были выделены различные состояния замирания в зависимости от уровня угрозы и индивидуальных особенностей [118, 208].

Однако, объяснения этому противоречию до сих пор дано не было. Одна из попыток объяснить реакцию замирания производилась в исследовании, где испытуемым демонстрировались изображения из четырех разных категорий:

- Мужчина, держащий оружие, направленное на камеру
- Мужчина, держащий оружие, направленное от камеры
- Мужчина, держащий нейтральный предмет, направленный на камеру
- Мужчина, держащий нейтральный предмет, направленный от камеры.

Исследовалось время реакции в задаче на нажатие кнопки, а также данные функциональной магнитно-резонансной томографии. По данным исследования, время реакции уменьшалось в случае угрожающего стимула, что говорит о повышенном внимании. В то же время, исследований моторной активности в данном исследовании не проводилось. Таким образом, четкого объяснения различий в характере реакции на различные негативные стимулы на текущий момент нет, хотя представление о наличии компонента угрозы в негативном эмоциональном стимуле кажется перспективным для изучения [169].

Таким образом, представляется весьма интересным изучить изменение тремора, вызванное психоэмоциональным напряжением, как частного случая нейромоторного шума, и его влияние на автоматизацию письма, поскольку чёткого понимания данного феномена на текущий момент в современной науке не сформировано. Консенсусом на текущий момент является наличие определенного влияния эмоционального напряжения на тремор на частотах 8 – 12 Гц, однако характер этого влияния и значимость его с точки зрения деавтоматизации письма еще предстоит изучить.

В данной работе рассматривается динамический физиологический тремор, как возникающий в процессе письма (то есть, в процессе действия), и изометрический тремор (статическое удержание усилия сжатия).

2.5. Основные исследования связи аффективных состояний с характеристиками письма

На текущий момент имеется недостаточно данных о влиянии психологических и психофизических состояний на те или иные параметры двигательной активности, что не позволяет судить об их влиянии на характеристики письма. В частности, такими состояниями могут быть настроение, стресс, и различные аффекты. Существует база исследований относительно влияния аффективных состояний на процесс письма, однако она больше сосредоточена на выделении ключевых характеристик в письме, позволяющих судить о наличии того или иного аффективного состояния, и достаточно хорошо суммирована в [217], где описывается 8 исследований, оценивавших, помимо прочего, влияние усталости, настроения и стресса на параметры письма. Однако, данная работа имеет своей целью сравнение почерковедческих исследований, а также имеет значительное ограничение в виде объединения состояний аффективных и функциональных в единую группу для задач исследования.

Имеющиеся на текущий момент отечественные и зарубежные исследования относительно эффектов аффективных и функциональных состояний собраны в сводной таблице 7 (см. приложение 1).

На сегодняшний день можно условно разделить методы анализа на 3 группы:

1) *С использованием машинного обучения* – такие методы построены на выделении неочевидных косвенных характеристик письма с помощью нейронных сетей, и использовании их для оценки эмоционального состояния испытуемого.

Например, в исследовании с помощью данных опросника DASS-42 и выполняемых различных графических задач (например, рисование часов, написание предложений и др.) получали данные, на основе которых проводилось машинное обучение. Данные включали классические параметры цифрового планшета и баллы опросника по 3 шкалам: депрессия, тревожность и стресс. В результате получилась следующая точность определения состояний испытуемых:

Депрессия 72.8%, Тревожность 59.7%, Стресс 55%. Данные показатели являются слабыми для определения актуального состояния, но является показательным примером исследования распознавания эмоциональных состояний по письму, используя машинное обучение [142].

2) *С использованием стандартных статистических методов* – опора ведется на классические статистические показатели относительно тех или иных первичных или производных характеристик письма как меру изменения эмоционального состояния испытуемых.

Например, в исследовании К. Рисплер и коллег были использованы видеозаписи для вызова позитивного или негативного настроения. В качестве графических данных испытуемые копировали параграф, который включал все буквы иврита (базовая линия) и в зависимости от группы настроения писали эссе на заданные темы. Результаты показали, что штрихи при манипуляции с негативным настроением были короче по продолжительности и меньше по ширине и высоте. Значимых различий по давлению пера получено не было [177].

3) *С использованием почерковедческих методов* – метод, опирающийся на выделенные группы почерковых признаков, которые затем выделяются в каждом отдельном образце текста.

Например, в работе Е.А. Шкоропат были отобраны 50 почерковых объектов людей, которые находились в состоянии «душевного волнения». К таким состояниям относились предэкзаменационная обстановка, состояние после автоаварии и суицидальные записки. В результате работы были составлены частотные таблицы, в которых подробно отражены основные изменения в почерке, которые характерны для «душевного волнения» [59].

Отдельно стоит отметить, что графологические исследования в обсуждаемой теме встречаются по настоящее время. В такого рода исследованиях основной акцент сделан на установление зависимости характера или состояний постфактум. Основным отличием является установление связей между отдельными характеристиками почерка с характерологическими особенностями либо интуитивным способом, либо корреляционным, либо с помощью нейросетей. [108,

152]. Мета-анализы не находят подтверждения основных результатов, полученными графологическим методом [91, 160].

Однако, подтверждение реакции на стимулы с помощью показателей вегетативной нервной системы (ВНС) и других физиологических показателей встречается в работах достаточно редко, в том числе как методика валидации полученных результатов. Существует исследование, по результатам которого утверждается, что машинное обучение как метод оценки эмоционального состояния может давать точность определения порядка 60%, близко к определению по параметрам письма, которые дают 59%. Сочетание же этих методов дает незначительное увеличение до 64%, что позволяет предположить, что методика машинного обучения, использованная в работе, опиралась на схожие исходные данные по сравнению с уже изученными параметрами письма. Полученные данные позволяют предположить, что дальнейшие доработки методик на основе машинного обучения и ансамблирование их с классическими методиками могут дать хорошую точность при определении эмоционального состояния [209].

Уникальной отечественной разработкой относительно изучения эмоциональной значимости в процессе письма является пиктополиграфический метод исследования, опирающийся на эмоционально-оценочную шкалу в сочетании с проективными и психодиагностическими методиками для уточнения субъективной значимости тех или иных предъявляемых стимулов для испытуемого. Практическую реализацию метода можно видеть в программно-аппаратном комплексе «ЭГОСКОП», который сочетает в себе использование кинематических (в частности, ускорение кончика пера) и кинетических (сила давления на перо) с физиологическими данными (ЭЭГ, ЭАК, ФПГ), для формирования комплексного отчета о произвольных и непроизвольных реакциях испытуемого на протяжении всего эксперимента, сформированные в виде так называемых профилей, смысло-эмоциональной значимости (СЭЗ). Эта методика позволяет с хорошей точностью верифицировать проективные и тестовые методики на основе физиологических показателей и характеристик письма[50].

В перечисленных исследованиях данный метод не используется как источник данных о эмоциональном напряжении непосредственно в процессе письма и его влиянии на характеристики письма, больше применяясь для валидации методик в целом, и соответственно большая часть исследований направлена на формирование СЭЗ испытуемого по всей продолжительности психологической методики, а не на изучение моментальных изменений в нем и связи их с характеристиками письма [10, 13].

Тема использования кинетических параметров письма как способа идентификации эмоционального состояния человека в проанализированных исследованиях представлена весьма слабо, что открывает широкое поле для разработки и внедрения методик, основанных именно на этих параметрах. Представляется, что сочетание уже имеющихся методик с методиками, основанными на кинетических параметрах, позволят дать очередной большой скачок в точности распознавания эмоционального состояния. Это становится все более актуально с учетом замедления роста точности распознавания в то время, как остальные методики подходят к своему теоретическому пределу.

Как видно из таблицы 7, методы исследования связи эмоциональных, аффективных и функциональных состояний значительно варьируются между исследованиями, что неизбежно вносит фундаментальные различия в характер получаемых данных и может приводить к различной трактовке результатов. Эмоциональное напряжение, включающее в себя конструкт основного аффекта по модели Д.В. Люсина, в которой используется в качестве стимуляции эмоциональные изображения из апробированной базы и звуки, вызывающие дискомфорт, будет рассмотрено в настоящей работе для расширения понимания влияния кинетических параметров письма на эмоциональное напряжения в связи с физиологическими показателями.

2.6. Вывод к Разделу 2

Рассмотренные теоретические и практические аспекты письма и их связь с эмоциональными состояниями позволяют говорить о необходимости разработки исследований кинетических характеристик и тремора в связи с факторами эмоций подконтрольно с измерением физиологических переменных. Поскольку основной пласт работ, который включают в себя как исследование кинематики, так и исследования тремора, в основном направлен на клинический аспект, поэтому есть перспектива для изучения в психофизиологии этих факторов вне клинических аспектов.

Так, автоматизация письма по Н.А. Бернштейну является важным объектом исследования и вне изучения испытуемых в рамках клинической картины. Более того, представляется, что, будучи сложным и комплексным навыком, автоматизируемым сразу на нескольких уровнях, письмо может стать важным источником данных о влиянии эмоционального напряжения и стресса на автоматизацию-деавтоматизацию навыков в целом.

С учетом обширности набора параметров, характеризующих письмо как процесс и результат этого процесса, необходимо тщательно выбирать из них наиболее значимые для каждого этапа исследования с тем, чтобы соблюдать точность исследования и при этом обеспечить максимальную полноту данных. В рамках данной работы основной интерес представляют кинетические характеристики письма, в частности, тремор и его сила, однако они могут служить только косвенными признаками деавтоматизации. Это вынуждает использовать также часть кинематических признаков, в частности, количество инверсий и координаты X-Y пера в процессе письма как метрики.

Также в рамках данной работы рассматривается строго физиологический тремор на частотах 8 – 16 Гц как наиболее подверженный воздействию эмоционально значимых стимулов. Изучение именно этого спектра треморограммы позволяет получить наибольшее количество данных относительно

влияния эмоционального напряжения на тремор, и, соответственно, на автоматизацию уровня А по Н.А. Бернштейну.

Корпус исследований на эту тему на текущий момент достаточно беден и в основном складывается из исследований клинически больных пациентов либо же из исследований почерка как продукта письма. В то же время, существующие методы работы с данными письма имеют существенные недостатки – так, методы машинного обучения трудно анализировать, поскольку промежуточные данные скрыты внутри нейронной сети; почерковедческие методы не дают полной информации о процессе письма, а исследуют только его продукты; а исследовательские методы почти не включают в себя кинетические параметры письма, фокусируясь на кинематических. Важной целью настоящей работы является закрытие этого пробела и проведение исследования процесса письма с фокусом на треморе, как кинетическом параметре, и автоматизации-деавтоматизации как важном компоненте, определяющим итоговый результат.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Экспериментальный план и процедура

В исследовании для этапов 1 – 3 принимало участие 50 человек (28 мужчин и 22 женщины, средний возраст = 23 +/- 2,4 года, 8 левшей и 42 правши). Каждый из испытуемых заполнил бланк добровольного согласия на обработку персональных данных, подтвердил отсутствие болей или травм верхних конечностей, а также предшествующих текущих неврологических или психиатрических расстройств. В этапах 4 – 5 принимало участие 50 испытуемых (21 мужчина и 29 женщин, средний возраст – 22 +/- 1.8 года, 9 левшей и 41 правша).

Каждый из испытуемых заполнял бланк добровольного согласия на исследование и обработку персональных данных, а также предоставлял информацию об отсутствии болей или травм верхних конечностей, предшествующих или текущих неврологических или психиатрических расстройств. Испытуемым была предоставлена информация о целях, методах, побочных эффектах, возможном риске, продолжительности и ожидаемых результатах исследования. Было сообщено, что гражданин имеет право отказаться от участия в исследовании на любой стадии. В качестве объекта исследования не принимали участие дети или другие уязвимые группы людей.

Экспериментальный план изучения влияния эмоционального напряжения включал 5 этапов:

- 1) удержание заданного усилия в изометрическом условии;
- 2) удержание заданного усилия с помощью тензодатчика, встроенного в корпус ручки;
- 3) предъявление стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение во время автоматизированного письма;

4) проверка влияния эмоционального напряжения, вызванного стимулами с компонентом и без компонента угрозы, в процессе прохождения лабиринта тремометра Верхало (ведущий уровень С1) на параметры тремора;

5) проверка влияния эмоционального напряжения, вызванного стимулами с компонентом и без компонента угрозы, в процессе письма по кинематическим характеристикам по количеству инверсий (ведущий уровень Е).

Стимулы

При проведении эксперимента использовалось три вида стимульного материала соответственно: звук, изображения и аудиофайлы, не содержащие звука, как отсутствие стимула.

В качестве базы данных изображений использовалась апробированная база COMPASS [212]. При создании базы данных изображения были разделены на три категории валентности (позитивные, негативные и нейтральные) и три категории интенсивности (высокого, среднего и низкого уровня возбуждения). В этапах 1 – 3 были отобраны 15 изображений с разделением по категориям валентности на 5 позитивных, 5 нейтральных, 5 негативных (для каждого этапа отдельно). Все изображения, кроме нейтральных, были в категории вызова высокого возбуждения, нейтральные – в категории низкого. Визуальный стимульный материал предъявлялся на протяжении 2 секунд. Всего изображений по 1-3 этапу – 45 (15 негативных, 15 нейтральных, 15 позитивных).

В качестве базы звуковых стимулов были подобраны отрезки различных звуков взрыва, а также мужского и женского крика продолжительностью в 1 секунду. При проведении эксперимента установка и испытуемый располагались таким образом, чтобы воспринимаемая громкость стимула составляла 105 Дб. Такие непредсказуемые звуки вызывают аверсию и стресс [112]. Участникам предъявлялось пять различных звуковых стимулов. Аудиофайлы, не содержащие звука, как контрольные материалы, также предъявлялись пять раз. Все стимулы были распределены случайно по времени предъявления, в промежутке от 5 до 20

секунд, а также по порядку предъявления. Данные стимулы использовались на всех этапах эксперимента.

В этапе 4 – 5 были использованы изображения из базы данных IAPS [135]. Были отобраны 60 изображений для каждого этапа (20 изображений нейтральных, 20 – вызывающих отвращение, 20 – с компонентом угрозы). На каждом этапе предъявлялись разные изображения. На 4 – 5 этапе количество предъявленных изображений составило 120 (40 изображений нейтральных, 40 – вызывающих отвращение, 40 – с компонентом угрозы).

3.2. 1 этап – удержание заданного усилия в изометрическом условии

Измерение максимального произвольного сокращения

Для решения проблемы с различными нормальными уровнями сил испытуемых применяется методика оценки максимального произвольного сокращения или Maximum voluntary contraction (МПС или MVC). Эта методика подразумевает получение данных о максимальной силе сжатия испытуемым и использование этого значения как 100% его силы с тем, чтобы дальнейшие измерения проводились относительно этого значения [163, 197, 198].

Перед основными этапами эксперимента оценивалось максимальное произвольное сокращение испытуемого. Испытуемых инструктировали захватить и максимально сжать тензодатчик с двух сторон указательным и большим пальцами и нажать «как можно сильнее». Такое измерение длительностью 6 секунд повторялось 3 раза для каждого испытуемого. Сила нажатия на датчик оцифровывалась, и выбиралось 10 максимальных показателей, которые затем усреднялись для получения более точного показателя МПС. В дальнейшей работе при выполнении задачи на удержание целевым показателем было выбрано значение в 10% МПС. Описанная методика используется также при работе с обратной связью силового сокращения у пациентов с болезнью Паркинсона [197].

Процедура эксперимента

Задача испытуемых состояла в том, чтобы удерживать датчик давления большим и указательным пальцем, поддерживая заданный уровень силы. Исключение технических ошибок, связанных с деформацией самого датчика, обеспечивалось твердой опорой под датчиком. Испытуемый находился в положении сидя, рука опиралась предплечьем и кистью на стол, ладонь располагалась ребром, как показано на рисунке 2. Целевое значение уровня силы демонстрировалось на мониторе, показательный результат представлен на рисунке 1, расположенном на расстоянии 30 сантиметров от глаз. Целевое значение в 10% МПС соответствовало горизонтальной линии на графике, отмечающей значение в 10000 единиц на шкале уровня силы, размеченной от 0 до 22000. По горизонтальной оси графика было отмечено время в секундах, соответствующее времени с начала этапа эксперимента. Перед основной сессией этапа эксперимента были проведены тренировочные пробы до полного понимания сути задачи.

В ходе эксперимента собирались данные тензотремографии с датчика, удерживаемого испытуемым, а также данные ВНС – данные фотоплетизмографии и электрической активности кожи. Датчики ВНС были на пальцах неактивной руки испытуемого (датчики ФПГ и ЭАК).

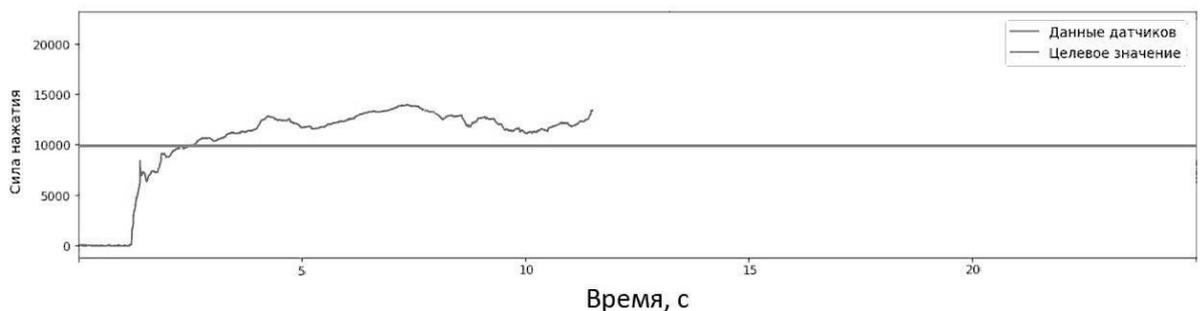


Рис. 1. Обратная связь, получаемая испытуемым. По оси Y – уровень силы на датчике, по оси X – время в секундах.

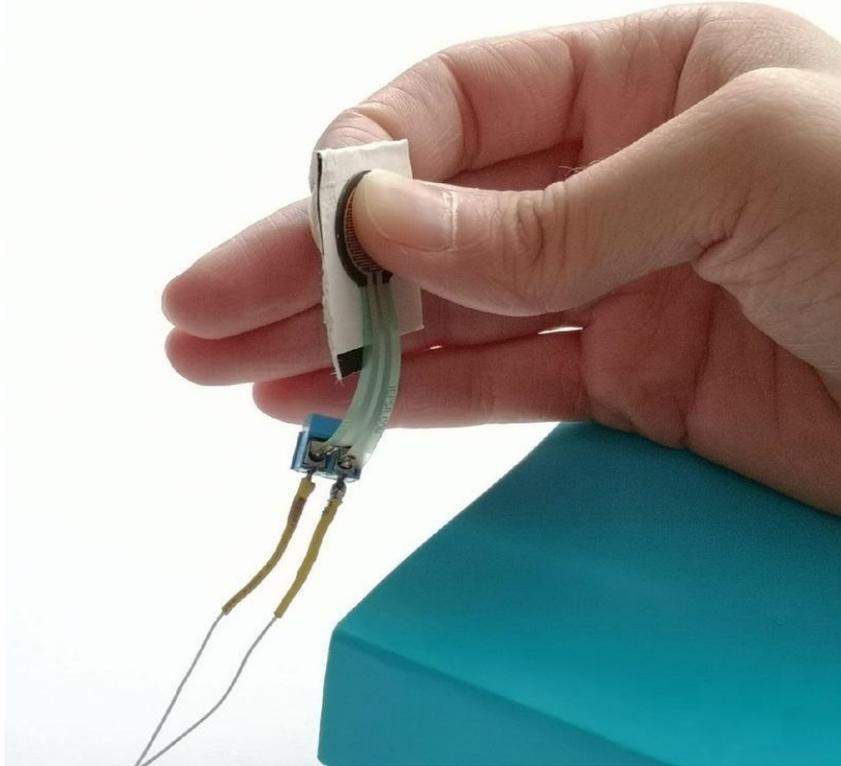


Рис. 2. Удержание заданного усилия в изометрическом условии.

Данный этап схож с экспериментами зарубежных исследователей, в которых оценивалось влияние эмоциональных стимулов на параметры изометрического сокращения [75, 76, 89].

Инструкция

Инструкция была следующей: «Вам необходимо поддерживать заданный уровень усилия (10000), показанный горизонтальной линией на графике, до ее конца. В случайный момент времени вам может быть предъявлен стимул в виде изображения или звука. Старайтесь поддерживать заданный уровень на протяжении всего испытания». Схема эксперимента изображена на рисунке 3.

Автоматизация выполняемого действия достигалась тренировками перед основной частью эксперимента до уверенного выполнения задачи без подачи стимула. Межстимульный интервал был равен 5 секундам. Базу стимулов для этапа составило три группы изображений различной валентности, по пять элементов в каждой группе, а также пять звуковых стимулов и пять аудиофайлов без стимула.

Этот экспериментальный этап длился на протяжении 14,5 минут. Между этапами эксперимента испытуемым предлагалось отдохнуть в спокойной обстановке в течение 5 минут.



Рис. 3. План первого и второго этапа эксперимента.

Целью этапа является определить наличие и характер взаимосвязи создаваемого стимулами эмоционального напряжения и треморограммы в условии изометрического сокращения.

Таким образом, на данном этапе **проверяется гипотеза о наличии** существенных отличий в треморограммах, снимаемых в покое и в состоянии эмоционального напряжения в условии изометрического удержания усилия.

3.3. 2 этап – Удержание заданного усилия с помощью тензодатчика встроенного в ручку

Процедура эксперимента

Испытуемым была поставлена задача по удержанию пера штативным захватом, с расположением пальцев в обозначенных контактных точках, где располагались датчики. Под штативным захватом здесь понимается такой захват, в котором управление пером выполняется с помощью большого и указательного пальцев, в то время как средний выполняет роль опоры [84, 92]. Испытуемые

находились в положении сидя, рука опиралась предплечьем и кистью на подставку, держа ручку наконечником, направленным к столу, как продемонстрировано на рисунке 4. Аналогично первому этапу, задачей испытуемых было удержание линии силы, как показано на рисунке 1, на уровне в 10000 единиц (10% МПС). Обратная связь демонстрировалась на мониторе, расположенном на расстоянии 30 сантиметров от глаз. Линия силы показывалась в реальном времени, целевой уровень силы был отмечен на графике обратной связи горизонтальной линией. Перед основной сессией экспериментов испытуемые проходили тренировочные испытания до того момента, пока инструкция с паузами не была усвоена, а также не происходила адаптация к форме ручки.

Аналогично этапу 1, собирались данные ВНС и данные тензотремографии, датчики силы были установлены непосредственно в корпусе ручки на специально выделенных площадках под пальцы с помощью легкой полимерной глины, как показано на рисунке 4.



Рис. 4. Положение испытуемого во время 2 этапа эксперимента.

Инструкция

Испытуемые получили следующие указания: «Вам необходимо поддерживать заданный уровень усилия (10000), указанный горизонтальной линией на мониторе, нажимая большим пальцем на тензодатчик в корпусе ручки до конца линии. В случайный момент времени вам может быть предъявлен стимул в виде изображения или звука. Старайтесь поддерживать заданный уровень на протяжении всего испытания». Аналогично первому этапу, автоматизация была обеспечена серией тренировок без подачи стимула до уверенного выполнения задачи. Межстимульный интервал также составлял 5 секунд. Схема эксперимента показана на рисунке 3.

Стимульная база была набрана из трех групп по пять изображений, а также пяти аудиофайлов со стимульным материалом и пяти аудиофайлов без стимула. Между этапами эксперимента стимулы не повторялись. Общая продолжительность этапа 2 – 14.5 минут.

Целью данного этапа было изучить различия в треморограммах в покое и в эмоциональном напряжении при изменении условия, в котором выполняется удержание усилия («штативный захват»).

Данный этап необходим для проверки **гипотезы** о том, что эмоциональное напряжение будет вызывать сходные изменения тремора усилия при изменении условия, в котором выполняется удержание усилия, в сравнении с изометрическим условием.

3.4. 3 этап – Предъявление стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение во время автоматизированного письма

Процедура эксперимента

Аналогично этапу 2, испытуемые получили инструкцию удерживать перо с помощью динамического штативного захвата, с расположением пальцев в

контактных точках, где располагались датчики. Испытуемый находился в положении сидя, рука опиралась локтем на стол, как показано на рисунке 5. Перед ним располагался планшет производства Wacom One модели CTL-671, на расстоянии 30 сантиметров от глаз был расположен монитор, на котором испытуемым предъявлялись стимулы в процессе письма. Перед основной сессией экспериментов испытуемые проходили тренировочные испытания до того момента, пока инструкция с паузами не была усвоена, а также не происходила адаптация к форме ручки.

В процессе эксперимента записывались данные тензотремографии, фотоплетизмографии и электрической активности кожи. Данные тензотремографии получались от встроенных в ручку датчиков силы, расположенных в выемках под пальцы, данные ВНС получались с помощью отдельного блока аппаратуры, датчики были размещены на пальцах неактивной руки (датчики ФПГ и ЭАК).

В случайный момент времени между 1 и 3 секундами после начала письма испытуемому предъявлялось изображение из базы стимулов, которая содержала также 5 изображений позитивной валентности, 5 изображений негативной валентности, а также 5 нейтральных изображений. Кроме этого, в базе содержалось 5 громких звуков и 5 блоков, не содержащих стимула.

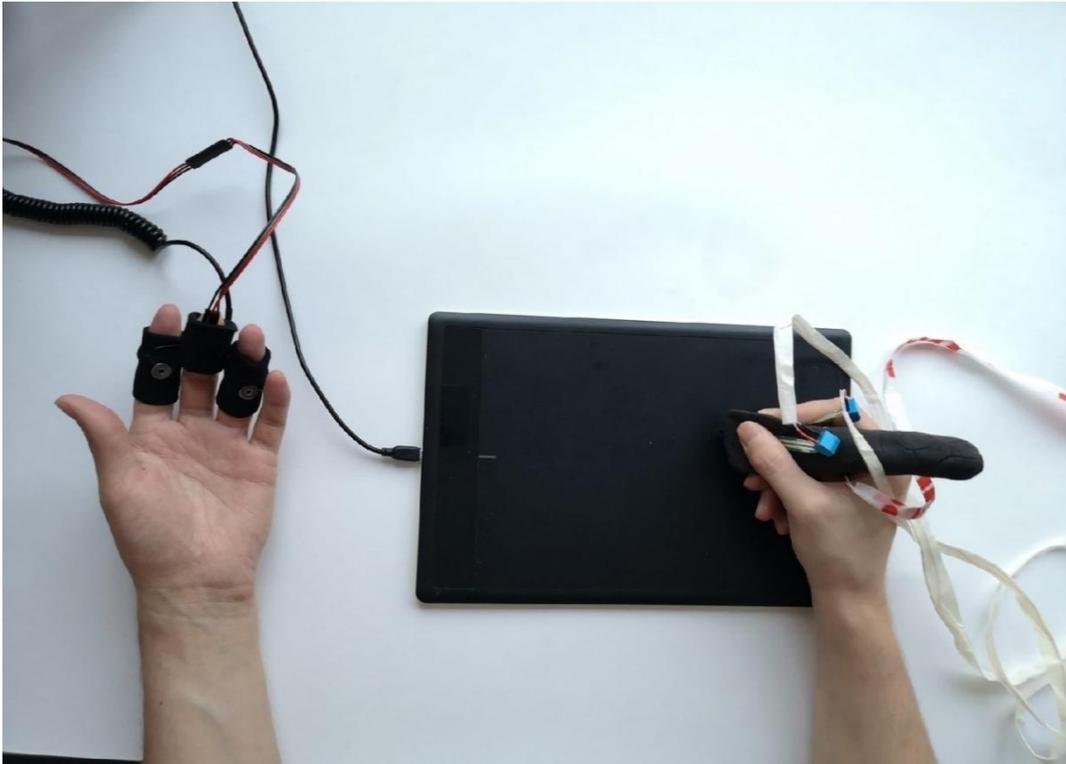


Рис. 5. Положение рук испытуемого во время письма. Записывались данные по ФПГ, ЭАК и тензотрёморографии.

Инструкция

Инструкция была следующей: «Вам необходимо будет написать фразу «Шиншилла Шиншилле шуршала». По сигналу начинайте писать. Во время письма смотрите на экран компьютера, вам будут предъявляться изображения». Схема этого экспериментального этапа представлена на рисунке 6.

Основной мотивацией для выбора именно этой фразы служил тот факт, что графомоторные операции при выполнении письменной задачи по написанию фразы происходят по циклоиде, характерной равномерностью движения предплечья и кисти [7].

Именно этот профиль наиболее удобен для исследования кинематических характеристик письма и берется в качестве базового в большинстве кинематических исследований письма [189, 194].



Рис. 6. План третьего этапа эксперимента.

Целью данного этапа было изучить характер изменения спектральной мощности тремора во время предъявления стимулов и в покое, в процессе выполнения письменного акта.

Данный этап необходим для проверки гипотезы об изменении характера тремора как фактора изменения силовых характеристик письма в процессе автоматизированного письма в состоянии эмоционального напряжения.

3.5. 4 этап - Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время прохождения лабиринта

Процедура эксперимента

Испытуемый располагался за столом, перед ним на столе на высоте 2 сантиметров от поверхности стола находился тестовый стенд тремогра Верхало [14]. Схема лабиринта представлена на рисунке 7. На столе также был расположен монитор для демонстрации стимульного материала. Перед началом эксперимента испытуемые проходили трассу лабиринта пять раз для достижения автоматизации этого навыка.

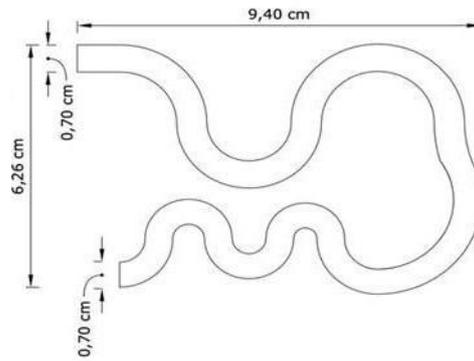


Рис. 7. Схема трассы тремометра Верхало.

После этого испытуемые получали указания пройти трассу один раз как можно быстрее, для сбора контрольных данных. Поскольку задание на прохождение лабиринта основывается на уровне С1 организации движений, ускорение прохождения не является для него сбивающим эффектом, в то время как в случае потери, пусть и незначительного, уровня автоматизации этого навыка, количество ошибок при выполнении будет заметнее при ускорении.

Испытуемым последовательно демонстрировалось три блока изображений. После демонстрации каждого блока им было необходимо выполнить задание на прохождение лабиринта по методу тремометра Верхало.

Каждый блок содержал в себе 20 изображений одной валентности, всего было 60 изображений – 20 нейтральных, 20 негативных с компонентом угрозы и 20 негативных без компонента угрозы. Каждое изображение демонстрировалось в течение 3 секунд, пауз между изображениями не было. После каждого блока и выполнения задачи испытуемым давалось 5 минут для отдыха и успокоения. Стимулы были взяты из апробированной базы изображений IAPS [135].

Инструкция

Испытуемые получили следующую инструкцию:

«Вам будут демонстрироваться наборы из 20 изображений. После каждого набора вам будет необходимо пройти трассу лабиринта на стенде перед вами, делая это как можно быстрее. Постарайтесь не задевать границы трассы».

Во время исследования собирались данные о треморе испытуемого с помощью тензодатчиков, встроенных в перо, которые проходили трассу лабиринта, а также данные о количестве касаний границ трассы лабиринта. Схема этого этапа эксперимента представлена на рисунке 8.



Рис. 8. План четвертого этапа эксперимента.

Целью данного этапа было определить треморовую реакцию на негативные эмоциональные стимулы с компонентом угрозы и без него, а также наличие и степень деавтоматизации навыка на уровне С1 по Н.А. Бернштейну при предъявлении таких стимулов.

В данном этапе **проверялась гипотеза** о влиянии стимульного материала, вызывающего угрозу в процессе треморометрии с помощью тремомера Верхало на ведущий уровень С1 по Н.А. Бернштейну.

3.6. 5 этап - Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время автоматизированного письма

Этап 5 проходил во многом аналогично этапу 4, однако в качестве задачи испытуемым предлагалось написать фразу «Шиншилла шиншилле шуршала».

Процедура эксперимента

Испытуемые располагались за столом, перед ними на столе располагался цифровой планшет Wacom. Также на столе находился монитор для демонстрации стимульного материала. Перед началом эксперимента испытуемых инструктировали написать фразу «Шиншилла шиншилле шуршала» для сбора контрольных данных.

Испытуемым демонстрировалось три блока по 20 изображений, один блок состоял из нейтральных изображений, второй – из негативных изображений с компонентом угрозы, третий – из негативных изображений без компонента угрозы. После демонстрации блока испытуемым предлагалось написать фразу «Шиншилла шиншилле шуршала».

В ходе эксперимента собирались данные о треморе испытуемых по данным тензотрёморометрии, а также данные о процессе письма – X и Y координаты пера на планшете, скорость и ускорение, а также количество инверсий пера как маркер деавтоматизации процесса письма [194].

Инструкция

Испытуемые получили следующую инструкцию: «Вам будет продемонстрировано три набора изображений, после каждого набора вам будет необходимо написать фразу «Шиншилла шиншилле шуршала». Схема этого экспериментального этапа представлена на рисунке 9.



* стимулы, подаваемые на каждом цикле были одной валентности. Всего было 3 цикла, со стимулами из категорий "нейтральное", "негативное с компонентом угрозы" и "негативное без компонента угрозы". Между циклами было 5 минут паузы.

Рис. 9. План пятого этапа эксперимента.

Целью данного этапа было изучение треморной реакции на негативные стимулы с компонентом угрозы и без, а также наличие и степень деавтоматизации письма, как навыка уровня Е по Н.А. Бернштейну, при демонстрации таких стимулов.

На данном этапе **проверялась гипотеза** о влиянии стимулов, вызывающих изменение количества инверсий во время письма, которое, как представляется, автоматизируется на ведущем уровне Е по Н.А. Бернштейну. Всего было отобрано 165 изображений и 15 аудиофайлов.

3.7. Описание аппаратной части

В качестве механизма сбора и обработки данных использовался программно-аппаратный комплекс, включающий в себя набор аппаратуры для получения данных о физиологической реакции испытуемого, в частности, данных

проводимости кожи, и фотоплетизмограммы, а также набор аппаратуры для получения данных тензометрии для определения силовых характеристик.

3.7.1. Модуль регистрации и анализа физиологических показателей

Аппаратура для получения данных о физиологических реакциях включает в себя блок сбора и передачи данных, основанный на микроконтроллере ATМega328РВ, фотоплетизмограф производства PulseSensor, который подключается к среднему пальцу светодиодами, обращенными к подушечке пальца. Датчик электрической активности кожи (Grove GSR sensor), на основе операционного усилителя LM324, подключался на средние фаланги указательного и безымянного пальцев левой руки.

Итоговая принципиальная схема представлена на рисунке 10.

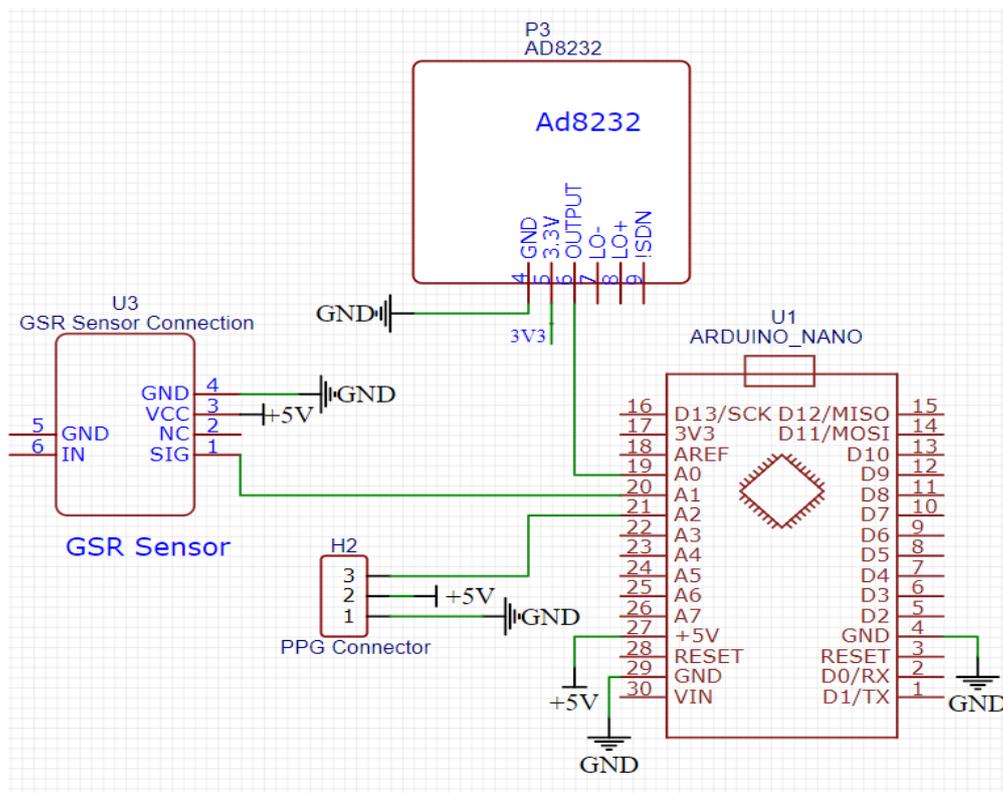


Рис. 10. Итоговая принципиальная схема устройства.

Для обработки аналоговых данных, получаемых от датчиков, использовался встроенный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера, позволяющий совершать оцифровку данных с разрешением 10 бит с частотой до 50 кГц без потери точности. На практике основным источником замедления оказалась необходимость передавать данные на компьютер для записи, в связи с чем была разработана система из внутреннего буфера на основе флэш-памяти микропроцессора, хранящая в себе определенную часть получаемых данных и отправляющая при наполнении буфера эти данные по последовательному порту на компьютер.

Интервал отправки и, соответственно, доля пересылаемых с каждой посылкой данных управлялись из прошивки микроконтроллера, и в рамках данной работы использовался интервал в 1/10 секунды и, соответственно, 1/10 частоты опроса как размер стандартной посылки. Данные передавались по последовательному порту UART с помощью конвертера, последовательного порта-USB на основе микросхемы CH340 и обрабатывались терминалом оператора установки с помощью специальной программы обработки и сохранения посылаемых данных.

В данном исследовании частоты опроса датчиков выбирались соответственно задачам работы и исходя из имеющегося консенсуса современной науки относительно допустимых и предпочитаемых характеристик опроса каждой из характеристик физиологического состояния. Частота опроса ФПГ 100 Гц – данный выбор был сделан исходя от того, что выбранные способы анализа ориентированы преимущественно на исследование изменений в ЧСС и вариабельности сердечного ритма, что не требует высоких частот при сборе данных. В то же время, согласно рекомендациям [79], частота опроса датчика электрической активности кожи была выбрана достаточно высокой: 500 Гц.

Полученные сигналы сохранялись на жесткий диск терминала оператора в формате CSV так, чтобы первый элемент каждой строки указывал время, прошедшее с начала эксперимента, и затем последовательно сохранялся полученный пакет данных от датчиков ФПГ и затем от ЭАК. Таким образом,

каждая строка характеризовала 100 миллисекунд эксперимента и не зависела от наличия или отсутствия других.

Для обработки полученных данных была выбрана открытая библиотека для языка Python neurokit2 [150], как наиболее распространенная, включающая в себя значительное количество инструментов для очистки, анализа, оценки качества и других задач работы с физиологическими данными, получаемых техническим путем. Эта библиотека позволяет корректировать ошибки передачи, оценивать качество получаемых данных, а также включает в себя методики последних актуальных исследований по анализу данных, что позволяет снять с исследователя значительную часть нагрузки по обработке и коррекции данных.

Анализ данных электрической активности кожи испытуемого осуществляется путем разделения «сырого» сигнала на фазовые и тоновые компоненты [115] и затем отдельного анализа каждого из них. Это позволяет определить как долгосрочный тренд, так и мгновенные всплески, наиболее интересные при подаче стимулов небольшой продолжительности или же вызывающих яркую, но кратковременную реакцию, как показано на рисунке 11:

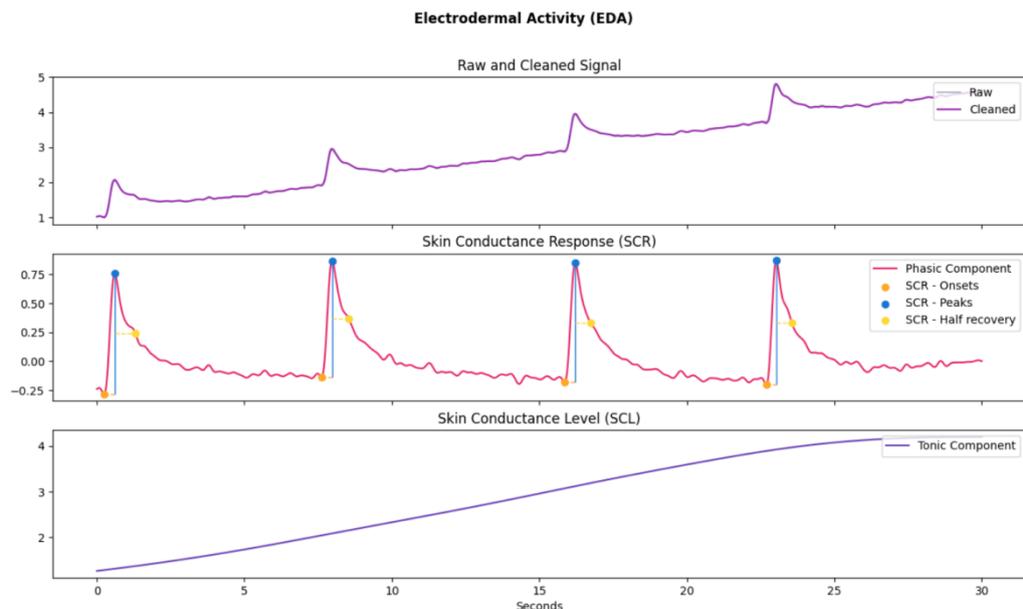


Рис. 11. Визуализация данных электрической активности кожи и выделенных КОМПОНЕНТОВ

В анализе данных фотоплетизмографии из сигнала выделяются пики, которые интерпретируются как R-пики сердца (с соответствующей задержкой), и между ними считаются R-R интервалы. Итоговый сигнал и его анализ продемонстрирован на рисунке 12:

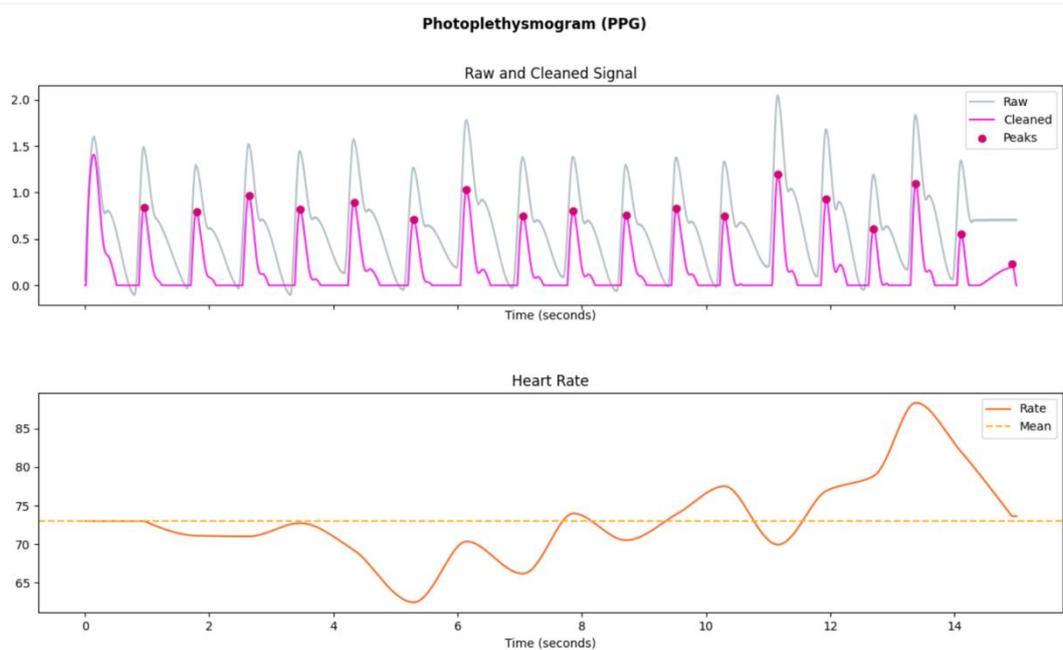


Рис. 12. Визуализация данных фотоплетизмографии и выделенных компонентов.

3.7.2. Модуль регистрации и анализа тензотремограмм

В качестве аппарата для сбора данных тензотрениометрии также использовался программно-аппаратный комплекс на основе микроконтроллера ATmega328PB, в сочетании с силочувствительными резисторами производства Interlink Electronics модели FSR402. К достоинствам такого вида резисторов можно отнести высокую точность и повторяемость считываемых усилий (производитель гарантирует повторяемость измерения не более 2% ошибки с диапазоном чувствительности 0.1Н – 10Н).

Для проверки воздействия температуры пальца на данные тензодатчика был проведен тест на температурные флуктуации, в котором испытуемому с помощью

скотча прикрепили на палец тензодатчик, и была дана инструкция удерживать усилие на уровне 50 грамм на протяжении 300 секунд. В результате был построен график, как показано на рисунке 13. На основании полученного графика можно сделать вывод, что температура пальца не сказывается на собираемых данных тензодатчика. Благодаря улучшенному дизайну такие устройства не требуют теплокоррекции, свойственной классическим датчикам изгиба, и могут использоваться вне мостовых схем без потери точности

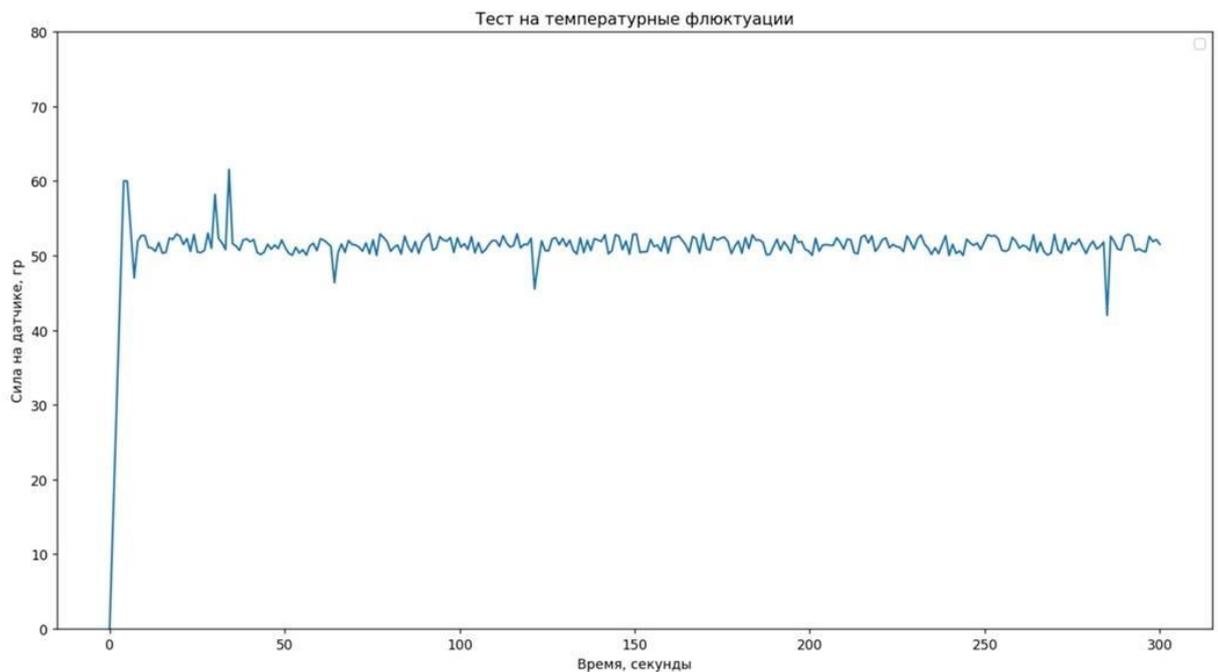


Рис. 13. Результаты теста на температурные флюктуации. По вертикальной оси – сила давления в граммах. По горизонтальной оси – время.

Поскольку стандартной точности измерения встроенного АЦП используемого микроконтроллера не вполне достаточно для измерения треморографических характеристик с необходимой точностью, в схему также включался внешний АЦП ADS1115 производства Texas Instruments, позволяющий совершать преобразование аналогового сигнала в цифровой с частотой до 860 Гц при напряжениях до 6В, и при этом сохраняющий точность измерения в 24 бита.

Так как стандартная схема подключения силовослествительного резистора в схему подразумевает включение через резисторный делитель, было принято

решение использовать в качестве второго плеча делителя подстроечные резисторы для более полного контроля над точностью измерения и характерными показателями.

Как можно видеть на рисунке 14, точность датчиков в такой схеме подключения зависит от прикладываемой силы нелинейным образом, что не позволяет использовать их для точного измерения сил в общем случае, однако прекрасно подходит для измерения тремора в выбранном диапазоне сил, поскольку точность измерения именно в нем значительно выше, чем у стандартных балочных датчиков.

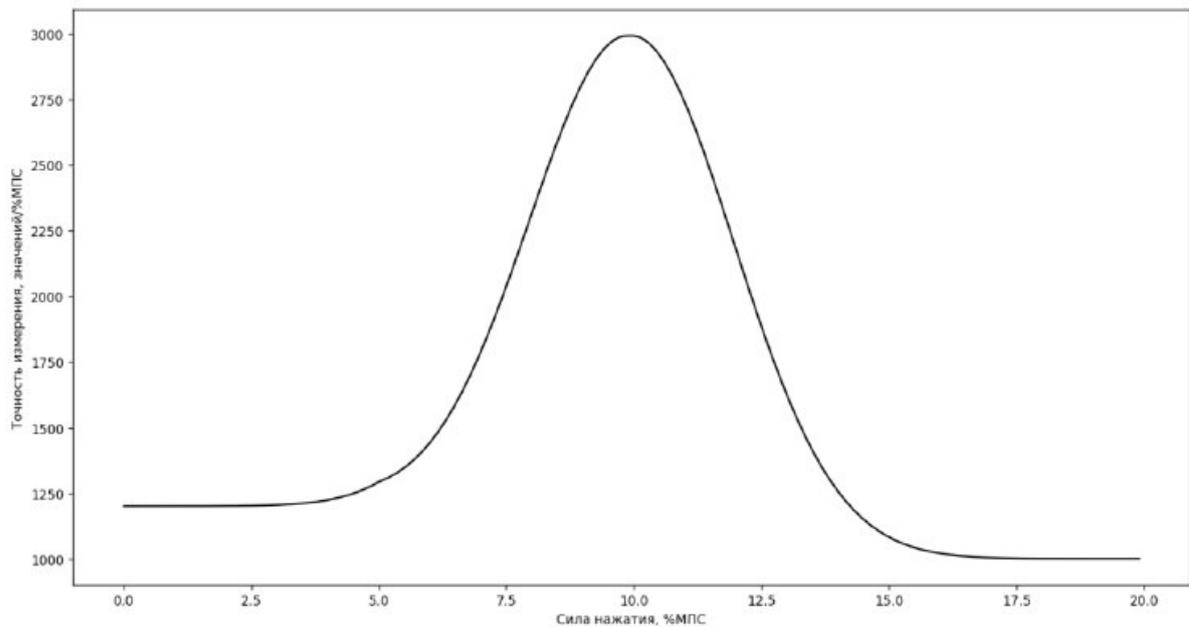


Рис. 14. Точность измерений датчиков в зависимости от приложенной силы.

Необходимо заметить, что для каждого испытуемого датчики подстраивались таким образом, чтобы пик точности устройства приходился на значение 10% МПС, что позволяло собирать максимально полные данные о силе и амплитуде тремора именно в диапазоне 9 – 11 %МПС.

Таким образом, схема подключения устройства сбора тензометрических данных выглядит, как показано на рисунке 15.

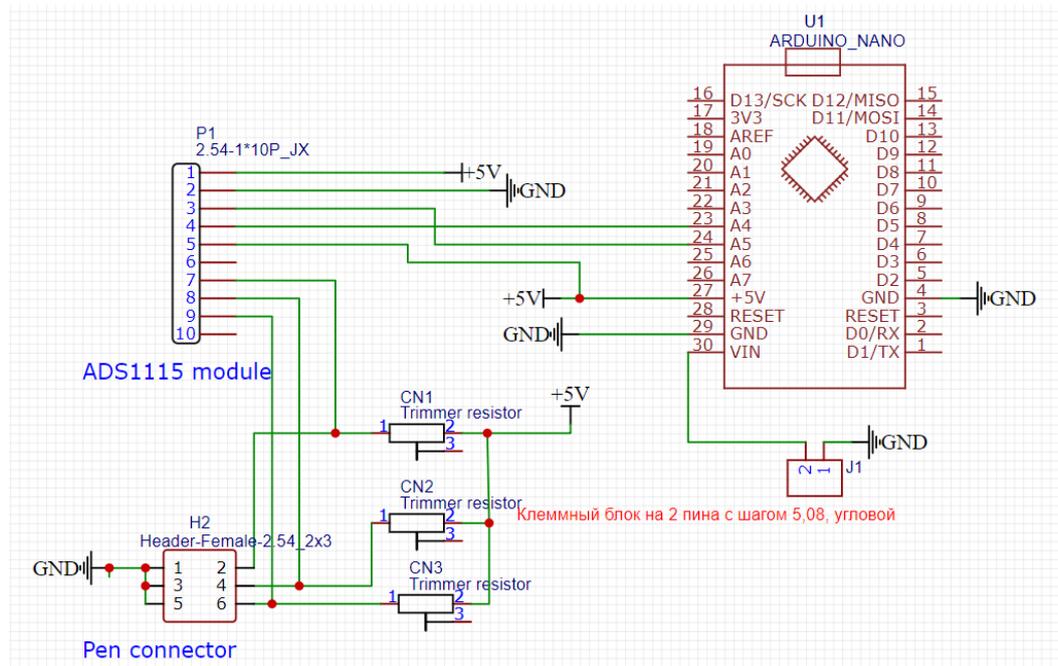


Рис. 15. Схема подключения устройства сбора тензометрических данных.

Полученные данные сохранялись на жесткий диск терминала оператора в формате CSV таким образом, что первый элемент строки характеризовал время, прошедшее с начала эксперимента, а затем передавались данные о силе, поступающей с каждого из 3-х силовых чувствительных резисторов, по очереди, на протяжении 100 миллисекунд. Для получения данных использовалась частота опроса в 120 Гц для каждого из датчиков, с расчётом на последующую фильтрацию, для которой, как известно, из теоремы Котельникова, необходима частота опроса, по крайней мере, в два раза превышающая частоту фильтрации [35].

3.8. Анализ данных

Полученные в результате данные представляют собой временные ряды, состоящие из значений силы нажатия в каждый момент времени. Такие временные ряды удобно статистически исследовать как некоторые выборки из генеральной совокупности, и применять для этого соответствующий математический аппарат.

Полученные данные предварительно обрабатываются для удобства статистического анализа – разбиваются на записи отдельных пальцев и структурируются в единый поток экспериментов. Каждый из пальцев анализируется отдельно, что позволяет потом сверять данные экспериментов на предмет ошибок и внутренней валидности.

Общая схема анализа данных представлена на рисунке 16.



Рис. 16. Схема анализа данных этапов 1 и 2.

Поскольку треморная реакция имеет различную природу, которая проявляется в различных диапазонах частот, в данной работе необходимо рассмотреть диапазон 8 – 16 Гц, как соответствующий физиологическому тремору [2, 25, 173, 178]. Так как у указанных авторов физиологический тремор был расширен до 8 – 16 Гц при применении различных методов (тензотреомрографии и акселерометрии), в исследовании был взят соответствующий диапазон. Для

получения данных только об интересующем диапазоне, каждая из записей фильтруется полосовым фильтром Баттерворта 6-го порядка с полосой 8 – 16 Гц, для коррекции свойственных этому фильтру сдвигов он проходится в прямом и обратном направлении. Результат подобной фильтрации и исходный сигнал показан на рисунке 17. Затем от результата фильтрации отделялся интервал, начинающийся от момента подачи стимула и заканчивающийся спустя три секунды, и делился на фрагменты.

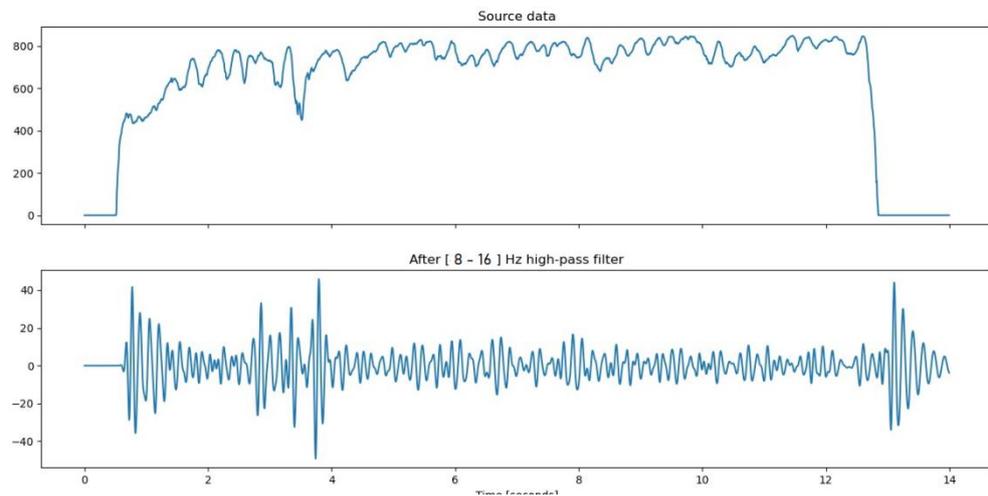


Рис. 17. Структура данных после фильтрации и до деления на фрагменты. По вертикальной оси сила нажатия в мН/Гц, по горизонтальной оси время.

Основной интерес представляет реакция на стимул на треморограмме, поэтому каждая из записей дробится на небольшие фрагменты данных методом скользящего окна [106]. Они выбираются таким образом, чтобы накладываться друг на друга со сдвигом в 0,5 секунды – это обеспечивает гарантию того, что найдется хотя бы один из фрагментов, где эта реакция представлена полностью. Задача анализа, соответственно, состоит в поиске и статистической обработке этого фрагмента в каждой записи или определении его отсутствия. Затем по оставленным аппаратурой записи меткам выбирались фрагменты, характеризующие моменты времени после подачи стимульного материала в течение 3 секунд (таким образом, выбиралось 10 фрагментов), и они анализировались статистически.

Схема скользящего окна представлена на рисунке 18.

Схема деления методом скользящего окна

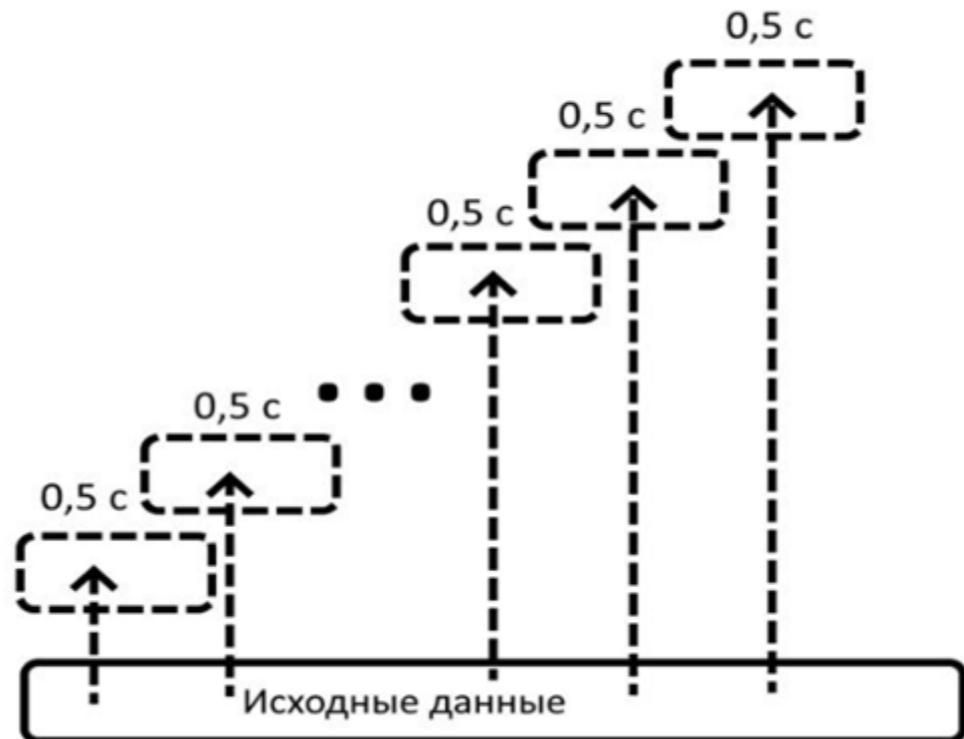


Рис. 18. Схема деления данных методом скользящего окна, пунктирной линией – результирующие участки.

Каждый из полученных фрагментов данных анализируется с помощью критерия Эпса-Синглтона на схожесть с сигналом, на котором не подавалось стимулов [99]. Если выявляется, что степень различия достаточно велика, можно говорить о том, что фрагмент данных и сигнал без стимулов принадлежат различным выборкам, а это свидетельствует о том, что на участок записи влиял еще некоторый фактор. Таким фактором и является изменившийся тремор в нужном диапазоне частот. Критерий Эпса-Синглтона является критерием принадлежности двух наборов данных одной и той же генеральной совокупности, основанным на эмпирической функции распределения, и выбран, как имеющий лучшую точность для непрерывных функций, а после фильтрации треморограмма имеет характер именно непрерывной функции, а также потому, что он позволяет использовать выборки разных размеров. Также статистическая мощность критерия

Эппса-Синглтона выше, чем у часто применяемого критерия Колмогорова-Смирнова [113]. В данной работе используется модификация критерия Эппса-Синглтона, в которой большей степени различия соответствует большее число.

Каждая запись проходила процесс фильтрации, разбиения на фрагменты методом скользящего окна, и затем анализ с помощью критерия Эппса-Синглтона. Затем данные различных пальцев из одной записи сравнивались для внутренней валидации данных и отслеживания технических артефактов записи. В результате этих процессов, для каждой записи получалось значение критерия Эппса-Синглтона для участка со значимым отличием, p -value этого значения, а также различие между минимальной и максимальной амплитудой на записи как дополнительный показатель характера изменений (d_{max}). Использование именно различия вместо абсолютных значений амплитуды позволяет скорректировать данные относительно характера сжатия и нормального тремора у каждого отдельного испытуемого.

Как итог анализа, строилась сводная таблица со значениями этих критериев по серии экспериментов для каждого вида стимула, где приводятся средние показатели различия амплитуды и критерия Эппса-Синглтона, а также максимальное значение p -value для каждой группы по виду стимула. Как референсные контрольные значения также даются эти же значения для записей в состоянии покоя. Таким образом, наличие фрагмента, который с высокой вероятностью не связан с данными сигнала до стимула, будет говорить о наличии явной реакции на эмоциональное напряжение.

Для анализа амплитуды строились диаграммы размаха d_{max} внутри группы испытуемых, где по горизонтальной оси были показаны виды стимулов, а по вертикальной отмечались 10-й и 90-й перцентиль различия амплитуды, 2 и 3 квартиль, и также медиана. Это необходимо для оценки разброса и сгруппированности значений по каждому стимулу внутри группы и для анализа на предмет артефактов и флуктуаций, что предствалено на рисунках 23 и 27.

При анализе третьего этапа эксперимента, в ходе которого испытуемые должны были активно писать, применение прямого статистического сравнения

было невозможно из-за вклада активных действий и разного характера письма у каждого испытуемого. Сбор и очистка данных в этом варианте осуществляется таким же образом, как и в прошлом варианте, однако в процессе анализа используется метод спектрального анализа по Ван Гален [204, 205]. Каждый фрагмент полученного методом скользящего окна анализировался методом Уэлча (основан на классическом методе периодограммы, однако разбивает сигнал на участки, применяя на каждом периодограмму и усредняет значения) [213]. Это позволяло исследовать общую энергию тремора на участке 8 – 16 Гц для каждого фрагмента.

Схема анализа третьего этапа эксперимента приведена на рисунке 19.



Рис. 19. Схема анализа третьего этапа эксперимента.

По результатам анализа была построена сводная таблица, где для каждого вида стимула указывалось среднее значение спектральной мощности участка со стимулом и стандартное отклонение этой мощности по группе. Также в качестве референсных контрольных значений приводились аналогичные значения для записи без стимула. Для исследования характера разброса спектральных плотностей были построены и исследованы диаграммы размаха внутри группы для каждого стимула, где по вертикальной оси указывалась спектральная мощность, а по горизонтальной – вид стимула, как показано на рисунке 29.

При анализе четвертого и пятого этапов эксперимента по треморограмме применялся аналогичный первому и второму этапу метод получения максимальной амплитуды на записи, и затем по амплитудам строились графики распределения типа «ящик-с-усами» [105], где по горизонтали были виды стимулов, а по вертикали – максимальная амплитуда на записи в %МПС. Графики затем сравнивались между собой относительно медианы, перцентилей и количества выбросов для оценки различия между результатами.

В качестве критерия деавтоматизации в этапе 4 использовалось количество касаний границ трассы лабиринта, нормализованное как количество в 10 секунд, чтобы компенсировать различную скорость выполнения задачи разными испытуемыми. По этим количествам строился график типа «ящик-с-усами» и эти графики сравнивались между собой, аналогично этапу 4. Кроме того, использовался t-критерий Стьюдента для зависимых выборок при сравнении между собой количества касаний в контрольной группе и в группах с подачей негативных стимулов.

Полученные в ходе эксперимента данные прошли проверку на нормальность распределения по всем полученным наборам данных, поэтому был выбран t-критерий Стьюдента.

По результатам статистического анализа была построена таблица, содержащая данные о статистическом анализе t-критерия Стьюдента парных корреляций между контрольной записью и записью со стимулом с компонентом

угрозы, а также корреляций между контрольной записью и записью с негативным стимулом без такого компонента.

В этапе 5 в качестве критерия деавтоматизации использовалось количество инверсий вертикального профиля записи, по методике, описанной в [194], полученные с помощью анализа второй производной от вертикальной координаты пера на планшете на предмет изменения её знака. Каждое такое изменение считалось одной инверсией.

По данным количества инверсий строился график типа «ящик-с-усами», а также сводная таблица с анализом с помощью t-критерия Стьюдента статистически значимых различий между контрольной записью и записями с предъявлением негативных эмоционально значимых стимулов.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные получились корректными и приемлемыми для работы. Все испытуемые включены в обработку данных. В процессе сбора данных были получены результаты показателей датчиков вегетативной нервной системы (ЭАК и ФПГ) и тензотремограмм. В рамках каждого этапа не было получено значимых отличий между данными испытуемых правой и левой, поэтому разделение по латеральности в результатах опущено для краткости изложения.

4.1. Результаты 1-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия в изометрическом условии»

Иллюстративные примеры визуальной оценки тензотремограмм и показателей вегетативной нервной системы (ЭАК, ФПГ)

Для того, чтобы убедиться в наличии реакции испытуемого на предъявленные стимулы, было необходимо рассмотреть конкретные реакции ВНС на известных стимулах, вызывающих эмоциональное напряжение. В рамках эксперимента были собраны данные тензотремографии, ЭАК и ФПГ.

Пример данных, которые наблюдались в ходе эксперимента при тензотремографии, можно видеть на рисунке 20.

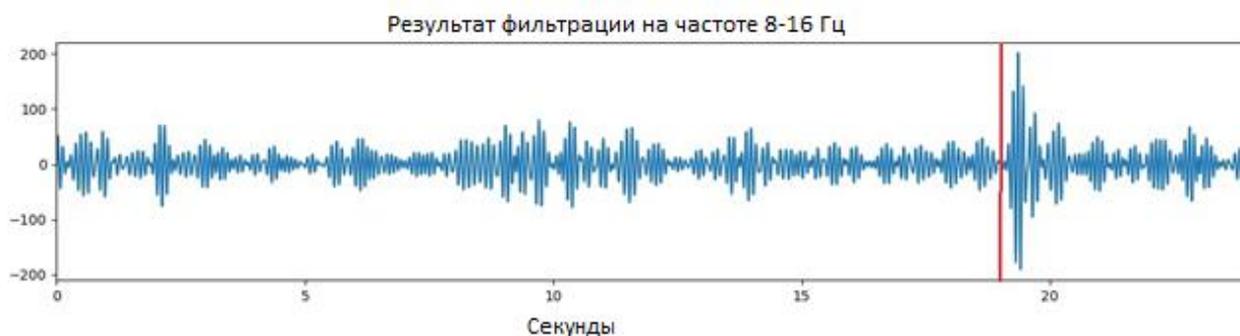


Рис. 20. Тензотремография в изометрическом условии, отфильтрованная на частотах 8 – 16 Гц. Момент подачи стимула отмечен линией (18,5 секунды), стимул

– «отвратительное изображение». По оси Y – сила в сотых долях %МПС, по оси X – время в секундах.

На изображении можно заметить характерный пик, совпадающий по времени появления (18.5 секунда) с моментом подачи стимула и значительно превышающий другие пики. Наличие такого пика на графике сигнала после применения фильтра Баттерворта на частотах 8 – 16 Гц позволяет говорить об изменении амплитуды тремора при появлении эмоционального напряжения.

На рисунке 21 изображен график электрической активности кожи, который записывался параллельно с данными о тензотремографии и фотоплетизмографией.

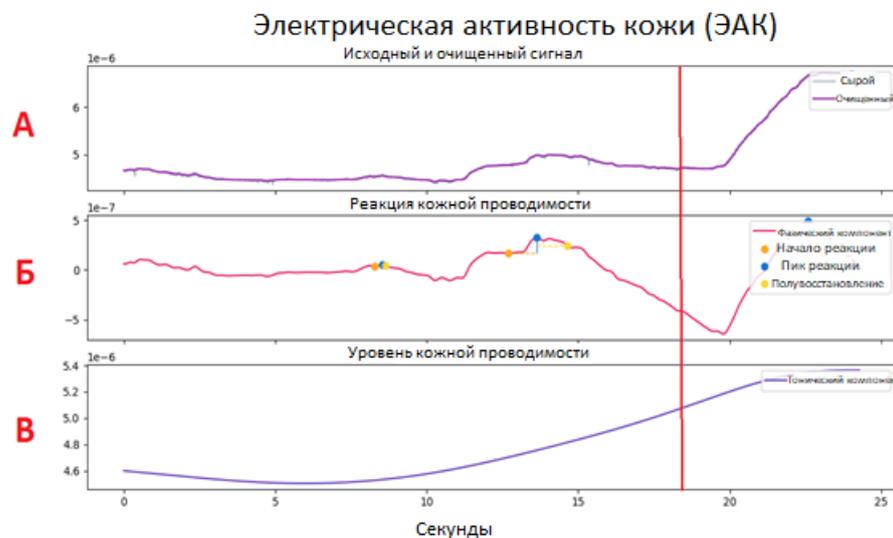


Рис. 21. График электрической активности кожи (ЭАК) в том же эксперименте. Момент подачи стимула соответствует предыдущему графику (18.5 секунд) и также отмечен вертикальной линией. По оси Y: А – ЭАК, очищенный сигнал, в мкСм, Б – фазовый компонент ЭАК, в десятых долях мкСм, В – тоновый компонент ЭАК, в мкСм. По оси X – время в секундах.

На результатах обработки по датчику ЭАК можно видеть реакцию на стимул на графике Б, появляющуюся после момента подачи сигнала с задержкой в 4 секунды, характерной для изменения ЭАК при эмоциональном стимуле [111]

Также подтверждение наличия эмоциональной реакции на стимул можно видеть на рисунке 22, где после момента подачи стимула наблюдается рост ЧСС.

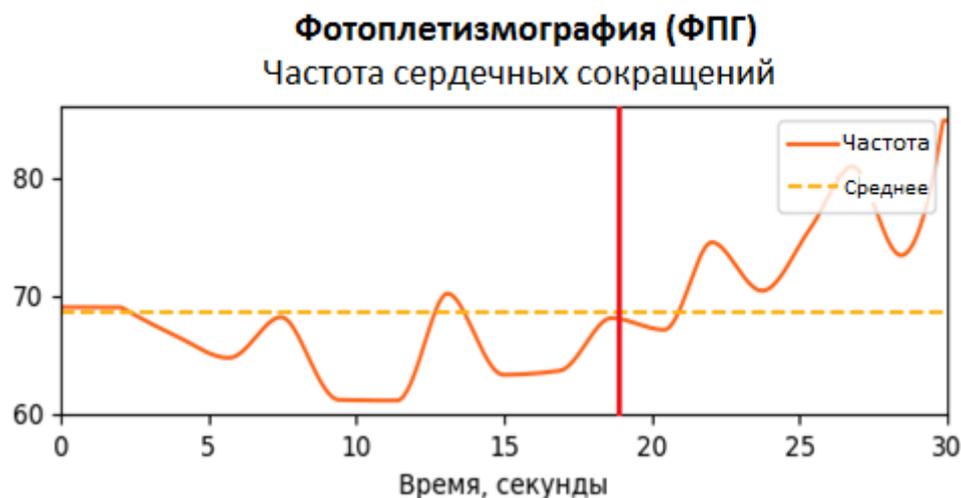


Рис. 22. Фотоплетизмограмма, стимул «отвратительное изображение» предъявлен на 18,5 секунде, и отмечен вертикальной линией. На графике показана частота сердечных сокращений (ЧСС), по оси Y – количество ударов сердца в минуту. По оси X – время в секундах.

Эти результаты визуальной оценки позволяют говорить о связи между данными тензотремографии и показателями вегетативной нервной системы. Результаты качественного анализа требуют статистической проверки на достоверность по всей совокупности выборки. Данные физиологических реакций испытуемых анализировались вручную, с поиском характерных реакций и пиков в диапазоны времени, соответствующие моментам подачи стимулов, и сравнивались с данными тензотренировки и между собой для кросс-проверки результатов. Таким образом, можно говорить о том, что при предъявлении стимула на тензотремограмме появляется некоторая реакция.

Статистический анализ 1-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия в изометрическом условии»

Полученные в процессе эксперимента данные обрабатывались с помощью фильтра Баттерворта, и затем статистической оценкой схожести участков записи с записью в покое, как описано в разделе анализа данных. Целью анализа был поиск

взаимосвязи между подачей эмоционально значимого стимула и изменениями треморограммы путем сравнения участков записи, на которых такой стимул подавался и без него.

При анализе записей по методике, описанной в разделе анализа данных, получаются результаты, описанные в таблице 1.

Таблица 1

Результат статистической обработки 1-го этапа по стимулам со значением критерия значимости сравнения записи со стимулом с записью в покое по Эппсу-Синглтону*, и значением средних амплитуд

	Стимульный материал предъявлялся			Стимульный материал не предъявлялся
Тип стимула	Критерий Эппса- Синглтона	p- значение	dmax, % МПС	dmax, % МПС
Звук	38,205425	0,000367	8,28	2,23
Красивое	35,089456	0,000169	7,75	
Отвратительное	41,284891	0,000266	7,42	
Нейтральное	25,761851	0,000935	3,39	

**Статистика теста значима в каждом случае (p-значение < 0,05)*

Ключевые показатели, выделенные в результате анализа полученных данных, включают в себе меру статистического различия записей, в качестве которой был выбран критерий Эппса-Синглтона (увеличение значения означает увеличение степени различия), степень достоверности этого критерия, а также разность максимума и минимума амплитуд на записи.

Степень различия участков до и после подачи стимульного материала была значимо выше при подаче визуальных стимулов с позитивной и негативной

валентностью («красивое» и «отвратительное» изображения), а также при подаче аудиостимула. Между теми же записями имеется значительное отличие в разности максимальной и минимальной амплитуд.

В то же время значимых различий между записями со стимулом «нейтральное изображение» и контрольной записью обнаружено не было. Увеличение степени различия участка означает, что участок после подачи стимула значительно отличается от участка до подачи стимула достаточно, чтобы говорить о том, что они принадлежат разным выборкам. Таким образом, после подачи стимула тремор меняется под воздействием некоторого дополнительного фактора, что наблюдается на графиках и совпадает по моменту возникновения с данными ЭАК и ФПГ. Таким образом, возникновение эмоционального напряжения по данным физиологических показателей (ФПГ, ЭАК) сопряжено с одновременным статистически значимым изменением треморовой картины.

Предположения, сформированные по результатам оценочного наблюдения за показательными графиками, и основная гипотеза эксперимента, таким образом, подтверждаются экспериментальными данными и их статистическим анализом, что позволяет говорить о том, что тензотреморограмма значительно меняется при появлении эмоционального напряжения у испытуемого, которое определяется по данным физиологического контроля (ЭАК и ФПГ).

На рисунке 23 можно наблюдать график разброса разницы максимальной амплитуды без стимула и максимальной амплитуды при подаче разных стимулов.

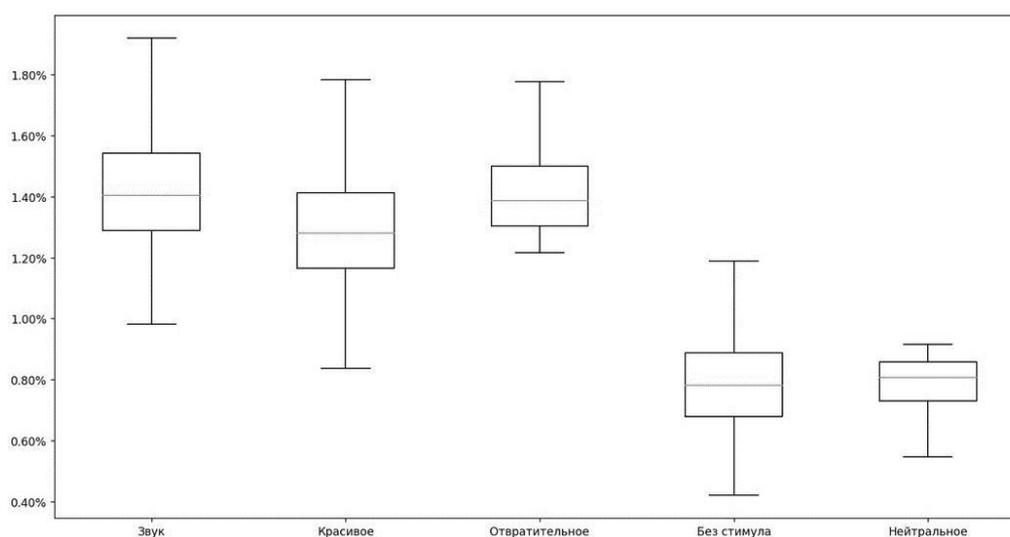


Рис. 23. Диаграмма размаха процентов максимального произвольного сокращения (МПС) в зависимости от предъявленных стимулов в условиях изометрического усилия. По вертикальной оси – % МПС.

Здесь линия посередине каждого из элементов графика показывает медианное значение, прямоугольник ограничен снизу и сверху медианным значением +/- межквартильный размах соответственно, а «усы» ограничены 10-м и 90-м перцентилями.

Можно видеть, что медианное значение выборки +/- межквартильный размах выше для стимула «Звук», а также «Красивое» и «Отвратительное» изображений (1.3 – 1.5%, 1.2 – 1.4% и 1.3 – 1.4%) соответственно. В то же время, для стимула «Нейтральное изображение» и записи без стимула, это же значение ниже (0.8 – 1%). Это позволяет говорить об увеличении медианного значения разброса в случае, когда испытуемый находился в эмоциональном напряжении, вызванном стимулом. При этом медианные значения амплитуд для записей, на которых подавался эмоционально значимый стимул, отличаются незначительно, что может говорить о неспецифичности изменения тензотремограммы относительно подаваемого стимула.

Это говорит о том, что амплитуда как показатель тензотремографии также значительно меняется при подаче эмоционально значимого стимула в условиях удержания датчика щипковым захватом. При этом разница между звуковыми стимулами и изображениями демонстрирует больший разброс, который, предположительно, возникает из-за повышенной реактивности нервной системы.

4.2. Результаты 2-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия с помощью тензодатчика встроенного в ручку»

Иллюстративные примеры визуальной оценки тензотремограмм и показателей вегетативной нервной системы (ЭАК и ФПГ)

На рисунке 24 представлен результат фильтрации тензотремограммы испытуемого фильтром Баттерворта с полосой 8 – 16 Гц.

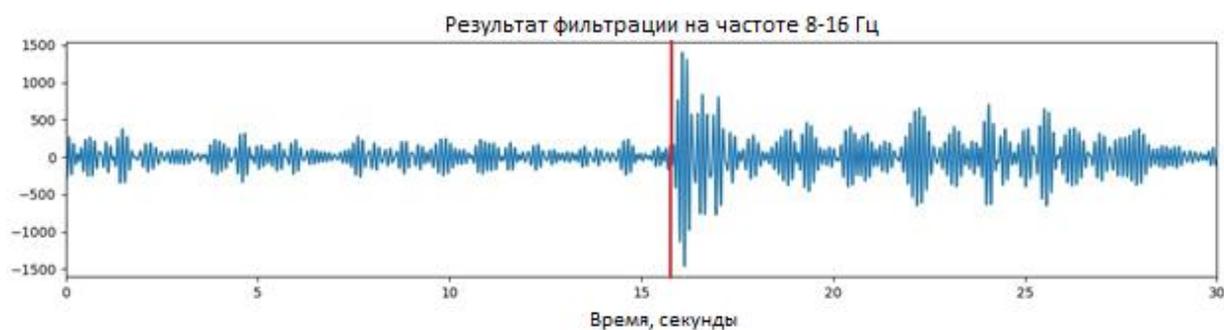


Рис. 24. Тензотремограмма после фильтрации на частоте 8-16 Гц. Ось Y – сотые доли % МПС, ось X – время. На моменте времени 15.5 секунд подан стимул «звук», момент отмечен вертикальной линией.

Результаты похожи на результаты удержания датчика в изометрических условиях щипковым захватом: сразу после подачи эмоционально значимого стимула наблюдается значительный пик на записи, превышающий другие наблюдаемые пики. Общее увеличение амплитуды тремора после подачи сигнала, предположительно, связано с реакцией конкретного испытуемого на эмоциональное напряжение.

На рисунке 25 демонстрируются данные записи ЭАК для испытуемого параллельно с данными тензотремографии.

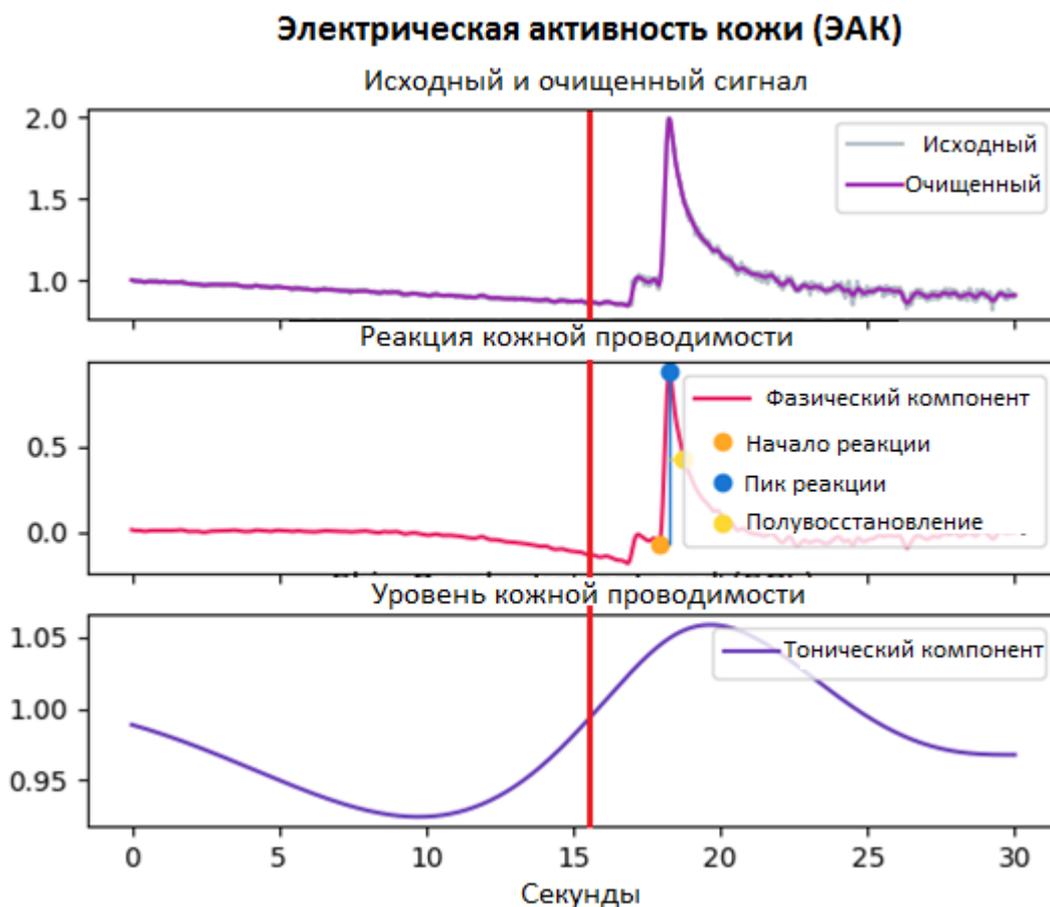


Рис. 25. Электрическая активность кожи, тот же эксперимент. На 15.5 секунде (отмечено вертикальной линией) подан стимул «Звук». А – ЭАК, очищенные от шумов данные, в десятках мкСм; Б – данные выделенной составляющей реакции ЭАК, в десятых долях мкСм; В – тоновый компонент ЭАК, в десятых долях мкСм. По оси X – на всех графиках время.

Заметен характерный пик на графике Б, совпадающий с моментом подачи стимула с точностью до времени запаздывания реакции ЭАК, позволяющий говорить о наличии эмоциональной реакции на поданный стимул.

Также о реакции на стимул позволяет говорить визуальный анализ данных ФПГ, полученных в ходе того же эксперимента, как показано на рисунке 26.

Заметно быстрое увеличение ЧСС после 15.5 секунды (момента подачи стимула), что также характерно для выраженной эмоциональной реакции на стимул.

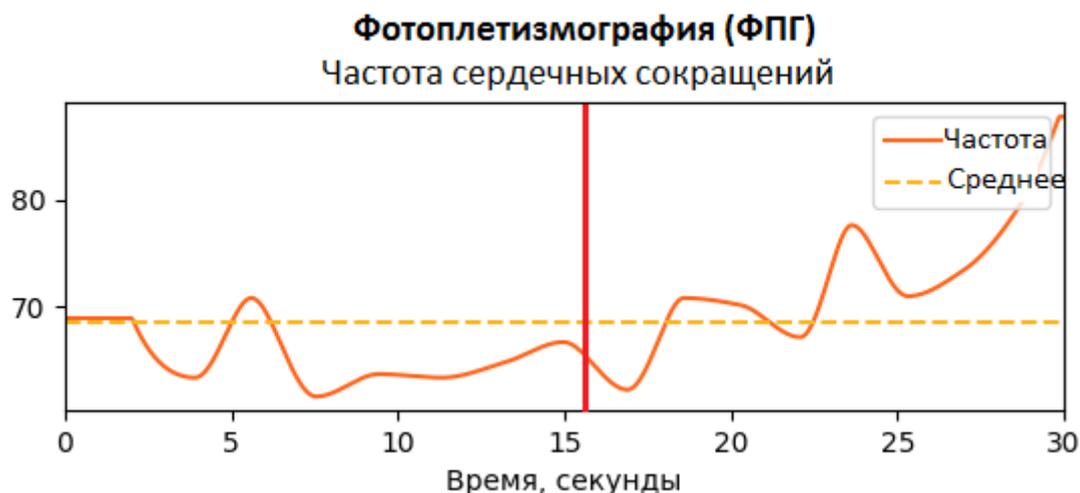


Рис. 26. ФПГ, стимул «Звук» предъявлен на 15.5 секунде и отмечен вертикальной линией. По оси Y – количество ударов в минуту, по оси X – время.

Таким образом, визуальный анализ результатов второго этапа эксперимента подтверждает полученные в ходе первого этапа данные о наличии изменения в характере тензотреморограммы после подачи эмоционально значимого стимула, причем изменение происходит независимо от характера удержания датчика. Аналогично первому этапу наблюдается увеличение ЧСС и фазовой компоненты ЭАК после подачи эмоционально значимого стимула, что позволяет говорить о наличии эмоционального напряжения, и отмечаются соответствующие изменения в характере тензотреморограммы после фильтрации на частотах 8 – 16 Гц.

Статистический анализ 2-го этапа эксперимента «Удержание заданного усилия с помощью тензодатчика встроенного в ручку».

Аналогично первому этапу, в качестве меры различия сигналов до и после подачи стимула использовался критерий Эпса-Синглтона с подтверждением статистической значимости с помощью p-value, а также показатель разности минимальной и максимальной амплитуд на записи, как показано в таблице 2.

Результат статистической обработки 2-го этапа по стимулам со значением критерия значимости по Эппсу-Синглтону*, и значением средних амплитуд.

	Стимульный материал предъявлялся			Стимульный материал не предъявлялся
Тип стимула	Критерий Эппса-Синглтона	p-значение	dmax, % МПС	dmax, % МПС
Звук	39.961739	0.000482	9.57	2.61
Красивое	40.790671	0.000262	7.33	
Отвратительное	43.413932	0.000205	8.12	
Нейтральное	27.113722	0.000766	4.49	

*Статистика теста значима в каждом случае (p -значение $< 0,05$)

Полученные данные во многом также аналогичны первому этапу – значения статистики Эппса-Синглтона для эмоционально значимых стимулов («Красивое» и «Отвратительное» изображения, а также «Звук») значимо выше соответствующих значений для стимулов эмоционально незначимых («Нейтральное» изображение и отсутствие стимула). Таким образом, во втором этапе эксперимента также наблюдаются значимые различия показателей тензотремографии между испытуемым в состоянии эмоционального напряжения и без него.

Аналогично эмоциональное напряжение отражается на разности минимальных и максимальных амплитуд, что можно видеть по отличию в 2 – 3.5 раза между записями с эмоционально значимым стимулом и без такового. Наибольшее значение dmax было отмечено при подаче стимула «Звук» (dmax = 9.57 %МПС).

Статистическая обработка незначительно отличается от эксперимента с изометрическим условием, поскольку задача отличалась для испытуемых только условием удержания с помощью форм фактора ручки.

Аналогично результатам для предыдущего эксперимента, на рисунке 27, наблюдается отличие в медианных значениях +/- межквартильный размах для разностей амплитуд в зависимости от того, подавался ли эмоционально значимый стимул.

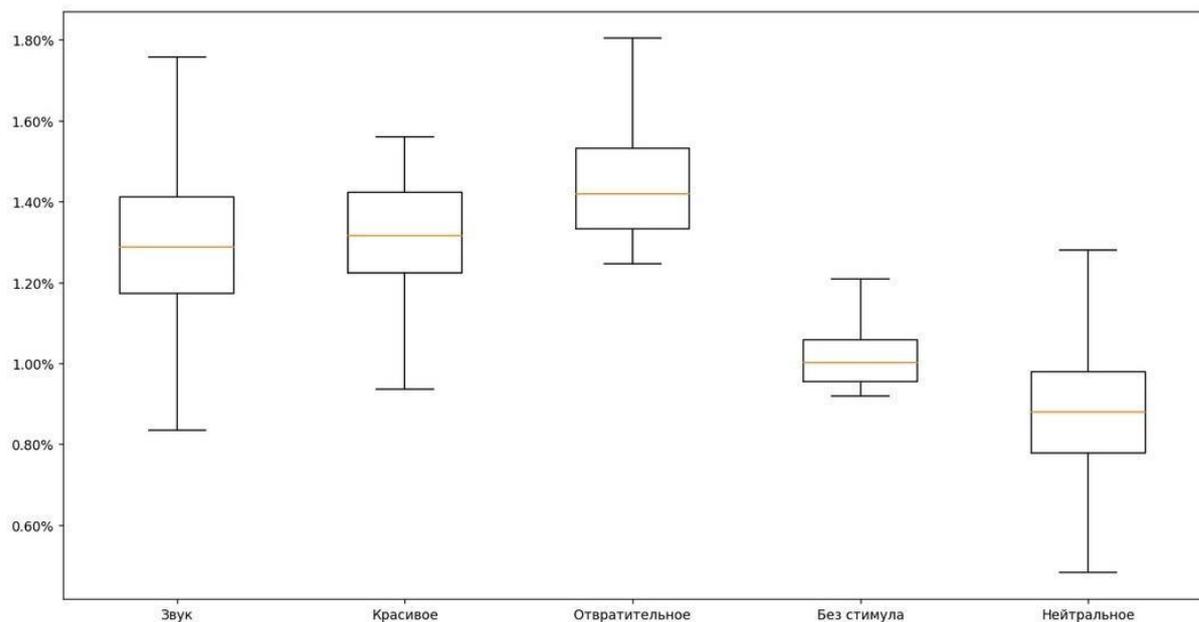


Рис. 27. Диаграмма размаха процентов разницы максимальной амплитуды тремора с разными стимулами и амплитуды без стимулов. Удержание усилия в штативном захвате. Ось Y – % МПС.

Медианные значения +/- межквартильный размах также оказываются выше при изучении записей, на которых подавался эмоционально значимый стимул («Звук», «Красивое» и «Отвратительное» изображения – 1.19 – 1.41%, 1.2 – 1.4% и 1.3 – 1.5% соответственно), и ниже без такого стимула («Нейтральное» изображение и отсутствие стимула – 0.8 – 1% и 0.95 – 1.05% соответственно).

Исходя из этих данных, можно говорить о том, что подача эмоционально значимого стимула возникает соответствующий рост мышечного тонуса, причем

валентность стимула не играет роли, поскольку медианные значения разности амплитуд для всех значимых стимулов отличаются незначительно.

Таким образом, данные второго этапа эксперимента подтверждают гипотезу о наличии связи между вызываемым эмоционально значимыми стимулами эмоциональным напряжением, определяемым по физиологическим параметрам, и изменением характера тремора по данным тензотремографии, в случае задействования дополнительных групп мышц штативным удержанием пера.

4.3. Результаты 3-го этапа эксперимента «Предъявление стимулов, вызывающих эмоциональное напряжения во время автоматизированного письма»

Данный этап служит для изучения автоматизации письма в разрезе тремора как его фактора. Отметим, что использованные в первом и втором этапе эксперимента методы определения различия записей в данном случае использовать невозможно. Это обусловлено эффектом «повторения без повторения», описанным Н.А. Бернштейном, который обеспечивает значительные различия в выполнении одних и тех же сложных действий даже без учета наличия сбивающих факторов. Для коррекции влияния этого эффекта требуется значительное количество дальнейших исследований и существенно более сложный математический аппарат [26].

Для того, чтобы провести математический анализ с учётом этого фактора, был выбран метод спектрального анализа мощности [75, 138, 204, 205] и незначительным образом модифицирован для более полного учета специфики задачи, как показано в разделе анализа данных. На рисунке 28 показан график результата такого анализа – синим цветом показаны данные спектрального анализа части записи до стимула, а красным – после стимула. Такое сравнение позволяет оценить мощность тремора на заданных частотах без прямого анализа участков

записей, что с учетом вклада сознательного движения не представляется реалистичным.

Обратим внимание, что показательная спектрограмма имеет два выраженных пика на частотах 8 и 16 Гц, характерных для физиологического тремора [164, 201]. Эти пики показывают значительное увеличение спектральной мощности тремора на этих частотах для участка записи, на котором подавался эмоционально значимый стимул. Это увеличение весьма значительно, с учетом, что ось Y графика использует логарифмическую шкалу с основанием 10.

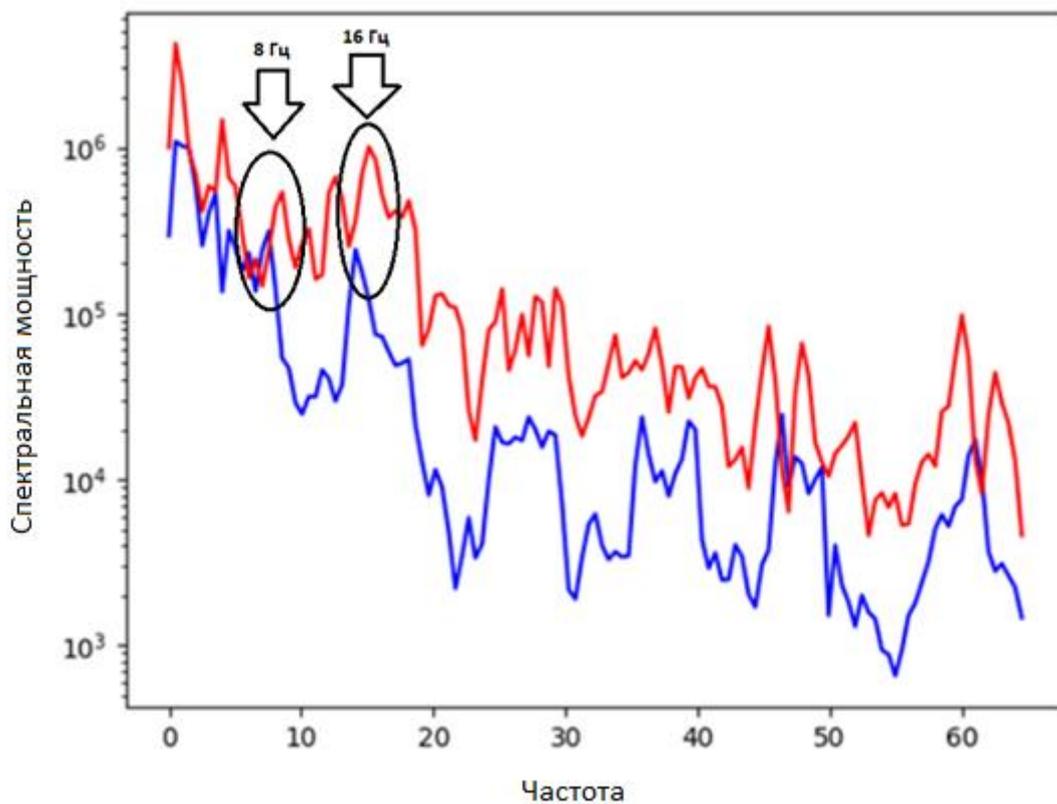


Рис. 28. Сравнение данных анализа спектральной плотности до и после стимула.

Красная линия – спектральная мощность после стимула. Синяя линия – спектральная мощность до стимула. По оси Y – мощность в $\text{мН}^2/\text{Гц}$, по оси X – частота, Гц.

При статистическом анализе таких данных учитывается только полоса в 8 – 16 Гц, которая получается из анализа спектральной плотности всего сигнала. После получения данных о частотах 8 – 16 Гц, было рассчитано среднее значение

мощности сигнала для каждого из видов стимулов, а также стандартное отклонение мощностей. Это позволило провести сравнительный анализ реакции на стимулы и на эмоциональное напряжение, вызываемое ими, несмотря на трудности в анализе данных с учетом, описанных выше проблем такого анализа напрямую.

Статистический анализ 3-го этапа эксперимента представлен в таблице 3.

Таблица 3

Результаты анализа спектральной плотности участков сигнала с разными стимулами.

Тип стимула	Стимульный материал предъявлялся		Стимульный материал не предъявлялся	
	Средняя мощность, мН ² /Гц	Стд.отклонение, мН ² /Гц	Средняя мощность, мН ² /Гц	Стд.отклонение, мН ² /Гц
Звук	393 731.09	35232.93	282517.36	6 801.29
Красивое	387 469.26	29156.31		
Отвратительное	387 562.58	28838.91		
Нейтральное	284 229.74	6419.35		

Аналогично предыдущим экспериментам можно видеть характерные различия между записями, на которых подавался эмоционально значимый стимул («Звук», «Красивое» и «Отвратительное» изображения) и записями, на которых такого стимула не было («Нейтральное» изображение и без стимула). Здесь для эмоционально значимых стимулов наблюдается увеличение средней мощности сигнала на 1/3 относительно средней мощности записей, где эмоционально значимый стимул не подавался. Ранее полученные данные о неспецифичности реакции на стимул также подтверждаются здесь тем фактом, что значимых различий между средними спектральными мощностями всех записей со стимулом не наблюдается.

На рисунке 29 можно наблюдать распределение средних спектральных мощностей после различных стимулов. Имеется значительное различие между мощностями, вызывающими эмоциональное напряжение стимулах, и не вызывающими.

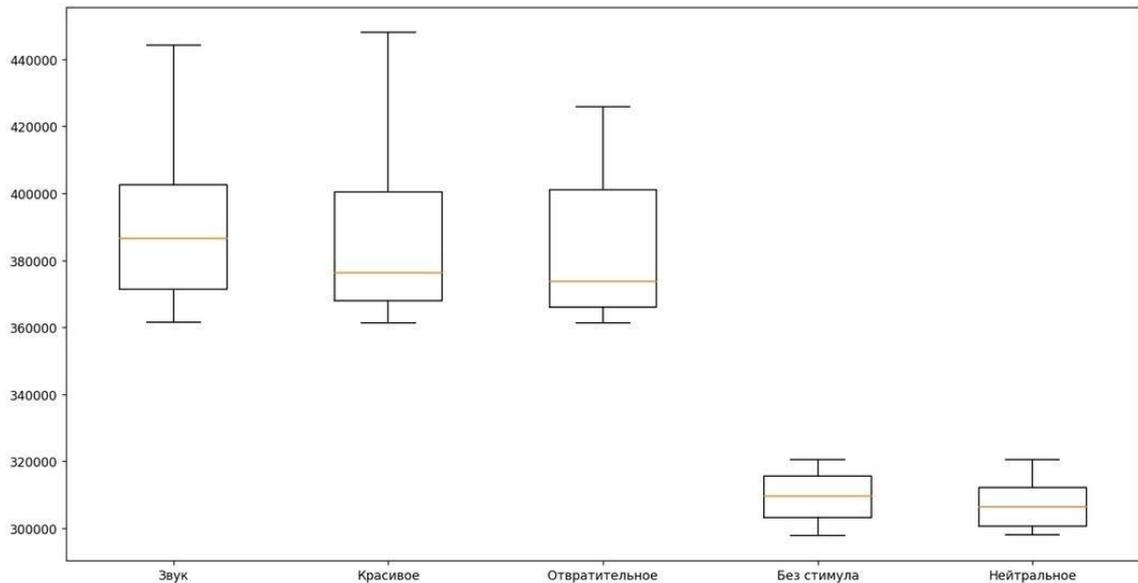


Рис. 29. Анализ мощности сигналов на частоте 8 – 16 Гц при подаче различных стимулов. По оси Y – спектральная плотность, в $\text{мН}^2/\text{Гц}$.

Медианные значения эмоционально значимых стимулов находятся в диапазоне 370000 – 390000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$ в сравнении с медианными значениями контрольных стимулов, которые находятся в диапазоне 310000 – 315000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$. В среднем разница между эмоциональными значимыми стимулами и контрольными составляет примерно 70000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$. Значения между 10-м и 90-м перцентилем в случаях отсутствия стимула и предъявления нейтрального стимула мало отличается и находится в диапазоне около 300000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$ – 318000 $\text{мН}^2/\text{Гц}$. Данный результат позволяет сделать вывод об идентичном влиянии нейтрального стимула по сравнению с его отсутствием, и соответственно корректном сравнении нейтрального стимула со значимыми стимулами.

Здесь также видны подтверждения гипотезы о неспецифичности реакции на эмоционально значимые стимулы, поскольку медианные значения для всех стимулов находятся примерно на одном уровне порядка $370000 - 400000 \text{ мН}^2/\text{Гц}$.

В то же время, исследования характера глубинных причин и принципов такого взаимодействия и изменения остаются неясными и дают почву для дальнейших исследований в этом направлении с применением новейших методик, аппаратов и открытий в этой области.

Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что эмоциональное напряжение, вызванное эмоционально значимыми стимулами, влияет на характер тремора как фактора автоматизированного письма по данным тензотримографии в процессе письма, причем наблюдается увеличение спектральной мощности тремора и, соответственно, его силы. В то же время, ограничения выбранного метода анализа не позволяют делать выводы относительно характера этого влияния, позволяя лишь определить его наличие или отсутствие.

4.4. Результаты 4-го этапа эксперимента “Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время прохождения лабиринта”

Данный этап эксперимента был направлен на исследование различий в реакции испытуемого на негативные эмоциональные стимулы с компонентом угрозы и без него, а также на определение наличия и степени деавтоматизации навыка, автоматизированного на уровне построения движений С1 при демонстрации таких стимулов.

В качестве метрики степени деавтоматизации было выбрано количество касаний границ трассы, которую проходили испытуемые, нормализованные как количество касаний в 10 секунд. Соответственно, здесь более высокое значение соответствует более высокой степени деавтоматизации, в качестве границы

нормального уровня касаний используется контрольная запись без демонстрации стимулов.

Также собирались данные тензотремографии, по которым анализировалась реакция на стимул, в случае уменьшения амплитуды тремора относительно контрольной записи можно было говорить о реакции замирания, в случае увеличения – о реакции возбуждения.

На рисунке 30 можно видеть, что максимальная амплитуда тремора при подаче негативного стимула с компонентом угрозы уменьшается, что позволяет говорить о наличии реакции замирания, в то время как при подаче негативного стимула без компонента угрозы максимальная амплитуда тремора увеличивается, что позволяет говорить о наличии реакции возбуждения.

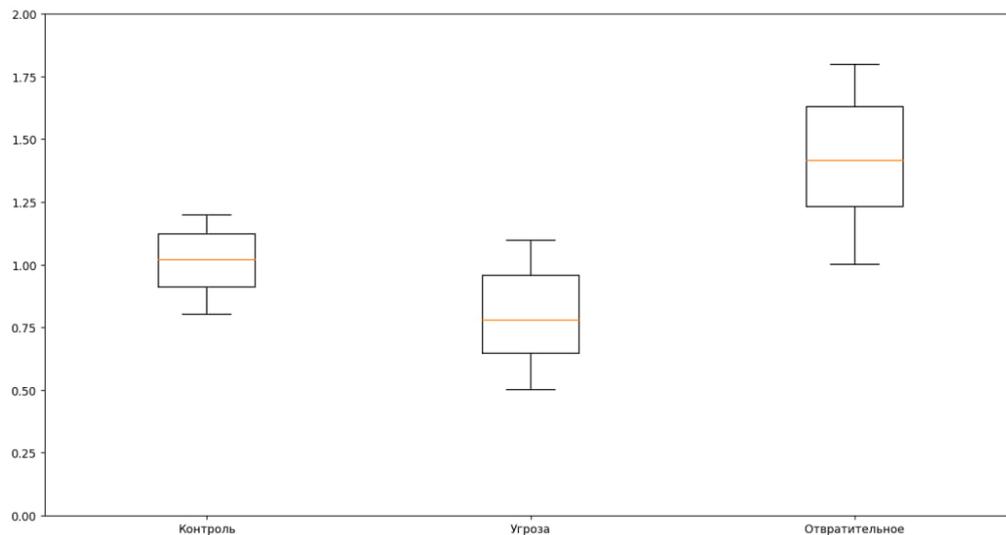


Рис. 30. Амплитуды тремора в зависимости от подаваемого негативного стимула (по вертикальной оси %МПС)

Так, в контрольной группе медианное значение амплитуды находится на значении 1.02% МПС, значения средних квартилей укладываются в диапазон от 0.78% МПС до 1.23% МПС. В то же время медианное значение при подаче стимула с компонентом угрозы находится на уровне 0.73%, значения между 25 и 75 перцентиллями укладываются в диапазон 0.51% – 1.13% МПС. Аналогично, при

подаче стимула без компонента угрозы медианное значение максимальной амплитуды выше, чем в контрольной записи, и находится на уровне 1.46% МПС, а значения средних квартилей укладываются в диапазон 1.03% – 1.77% МПС.

Результаты статистической обработки представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты анализа данных тензотрёморографии в ходе четвертого этапа эксперимента

		Критерий парных выборок							
		Парные разности					t	ст.св.	знач (двухсто ронняя)
		Среднее	Станд. отклон ения	Станд. средняя ошибка	95% доверительный интервал для разности				
					Нижняя	Верхняя			
Пара 1	Контроль – Увечье	,20580	,20587	,02911	,14729	,26430	7,069	49	,000
Пара 2	Контроль – Угроза	-,37266	,27291	,03859	-,45022	-,29510	-9,656	49	,000

По результатам статистического анализа можно видеть, что амплитуда тремора значимо (уровень значимости <0.05) менялась при подаче стимула как с компонентом угрозы, так и без него, однако в случае со стимулом без компонента угрозы происходило возрастание амплитуды, характерное для реакции возбуждения (t-критерий Стьюдента равен 7.069), а со стимулом с компонентом угрозы наблюдалось падение амплитуды, позволяющее говорить о реакции замирания (t-критерий Стьюдента равен -9.656)

Также анализировались данные количества касаний трассы лабиринта при демонстрации стимулов и в контрольной группе, по данным анализа строился график и таблица статистического анализа. График можно видеть на рисунке 31:

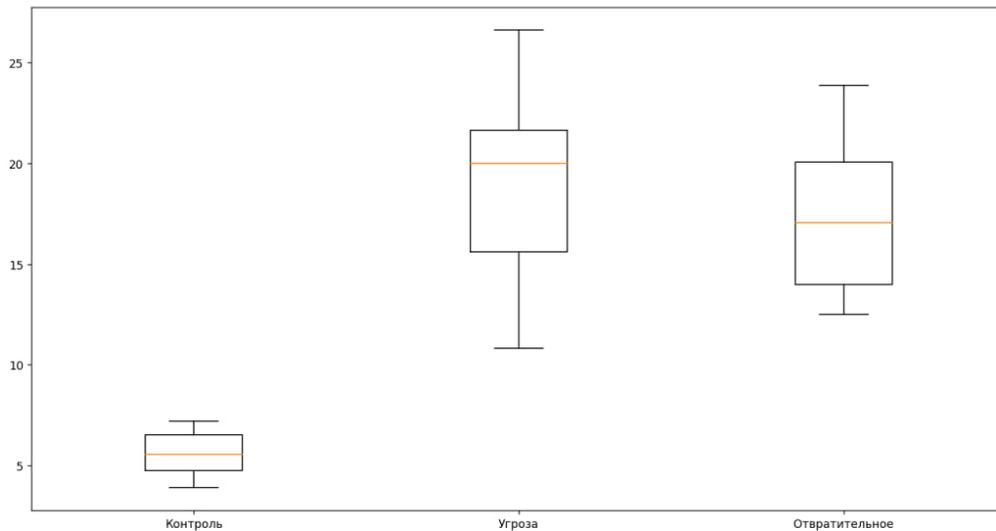


Рис. 31. Количество касаний трассы лабиринта в зависимости от предъявляемого стимула (по вертикальной оси – количество касаний в 10 секунд).

По графику на рисунке 31 видно, что в контрольной группе медианное значение количества касаний равно 8, а значения срединных 50% укладываются в диапазон 6 – 11 касаний. В то же время после предъявления стимула с компонентом угрозы медианное значение становится 17, а значения средних квартилей оказываются в диапазоне 15 – 20 касаний. При предъявлении стимула без компонента угрозы медианное значение становится 20, а значения двух средних квартилей оказываются в диапазоне 17 – 23 касаний. По этим данным можно видеть, что предъявление негативного эмоционально значимого стимула вызывает сильную деавтоматизацию на уровне С1, однако предъявление стимула с компонентом угрозы вызывает более слабую деавтоматизацию, что позволяет говорить о большей устойчивости уровня С1 к негативным стимулам с компонентом угрозы.

Статистический анализ представлен на таблице 5.

Таблица 5

Результаты анализа количества касаний границ трассы лабиринта

		Критерий парных выборок							
		Парные разности					t	ст. св.	знач (двухсторонняя)
Пара	Контроль –	Среднее	Станд. отклонение	Станд. средняя ошибка	95% доверительный интервал для разности				
					Нижняя	Верхняя			
1	Увечье	-8,78	2,07	,29	-9,36	-8,19	-29,948	49	,000
2	Угроза	-11,56	2,61	,36	-12,30	-10,81	-31,294	49	,000

Результаты, описанные в таблице 5 подтверждают анализ графика – можно видеть, что среднее количество касаний границ трассы лабиринта при подаче стимула с компонентом угрозы значимо (t-критерий Стьюдента равен -31.294) выше, чем в контрольной записи, и, более того, выше, чем на аналогичной записи для стимула без компонента угрозы (также значимо больше, чем в контрольной записи, t-критерий Стьюдента равен -29.948). Все результаты значимы при значении p-value <0.05).

4.5. Результаты 5-го этапа эксперимента “Предъявление стимулов с компонентом угрозы и без него во время автоматизированного письма”

В ходе этого этапа эксперимента исследовалась деавтоматизация письма как навыка, автоматизируемого на уровне E построения движения по Н.А. Бернштейну. В качестве метрики степени деавтоматизации использовалось количество инверсий профиля письма [194], измеряемое по количеству смен знаков второй производной Y – координаты пера в процессе письма.

Нормальное количество инверсий при полном отсутствии сбивания здесь составляет 1 инверсию на штрих, и фраза «Шиншилла шиншилле шуршала» выбиралась из тех соображений, что она состоит в основном из циклоид, где для написания одной из циклоид необходимо совершить ровно одну инверсию. Перед проведением непосредственно эксперимента испытуемые получили инструкцию написать эту же фразу, чтобы получить данные о нормальном количестве инверсий при письме этой фразы для каждого из них. Эти данные затем использовались в качестве контрольных при сравнении.

Данные анализа профиля письма также показаны на рисунке 32, результаты их статистического анализа с помощью t-критерия Стьюдента были собраны в сводную таблицу.

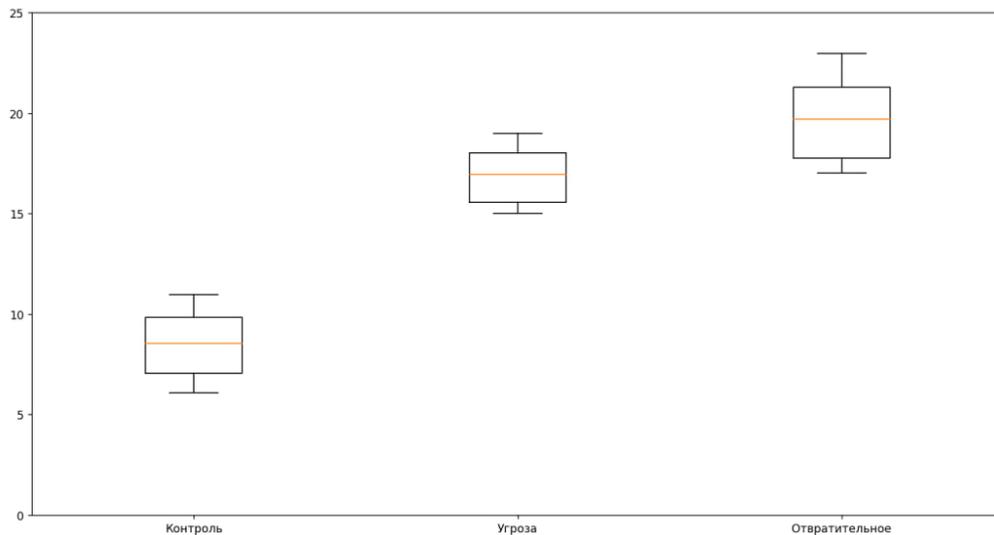


Рис. 32. Количество инверсий при письме в зависимости от предъявляемого стимула (по вертикали – количество инверсий при написании фразы в секунду).

Как можно видеть по графику на рисунке 32, на контрольной записи среднее количество инверсий в секунду – 8 значений двух средних квартилей укладываются в диапазон 6 – 12 инверсий/с. При демонстрации же стимула с компонентом угрозы степень автоматизации сильно отличается – так, медианное значение находится на уровне 17 инверсий/с, а значения двух средних квартилей находятся в диапазоне 15 – 19 инверсий/с, что позволяет говорить о сильной, хотя и неоднородной среди испытуемых деавтоматизации письма. Демонстрация стимула без компонента угрозы также вызывает деавтоматизацию, что видно по повышению медианного значения количества инверсий по сравнению с контрольной группой до 17 инверсий/с, и тому, что значения двух средних квартилей находятся в диапазоне от 16 до 23 инверсий/с.

Результат статистического анализ представлен на таблице 6.

Результаты анализа количества инверсий в ходе пятого этапа

		Критерий парных выборок							
		Парные разности					t	ст.с в.	знач (двухсто ронняя)
		Средн ее	Станд. отклонени я	Станд. средняя ошибка	95% доверительный интервал для разности				
					Нижняя	Верхняя			
Пара 1	Контроль – Увечье	-12,56	5,12	,72	-14,01	-11,10	-17,321	49	,000
Пара 2	Контроль – Угроза	-10,56	4,43	,62	-11,82	-9,29	-16,832	49	,000

Как можно видеть по данным табл. 6, деавтоматизация действительно происходит при подаче негативного стимула, и средние значения контрольных записей и записей со стимулами отличаются (значения t-критерия Стьюдента равны -17.321, и -16.832 для записей без компонента угрозы и с ним, соответственно, при уровне значимости <0.05). Однако, здесь стимул без компонента угрозы вызывает большую деавтоматизацию, в отличие от четвертого этапа, что можно видеть по разнице в среднем количестве инверсий.

4.6. Обсуждение результатов исследования

Предлагаемая работа включает в себя пять последовательных исследований, связанных задачей поиска и изучения связи эмоционального напряжения с параметрами автоматизированного письма. Основной акцент работы сделан на поиске и исследовании связи между данными о физиологическом состоянии человека как индикатора наличия эмоционального напряжения и данными

тензотрёморографии как составляющей кинетических параметров письма, а также на исследовании степени деавтоматизации выученных навыков при демонстрации определенных стимулов.

Выраженная реакция на эмоционально значимый стимул и, соответственно, вызываемое им напряжение крайне непродолжительны во времени, это ограничение учитывается в выбранных психофизиологических параметрах и методиках исследования. Для получения более точных данных относительно момента реакции на стимул и окружающего его временного промежутка был выбран метод деления данных на фрагменты, позволяющий рассматривать краткие промежутки времени с несколькими стартовыми позициями и получать больше полезной информации из того же объёма данных.

В связи с выбранными методиками и психофизиологическими параметрами, задачи данного исследования поставлены достаточно узко. Они ограничиваются поиском связи эмоционального напряжения с кинетическими параметрами процесса письма, без погружения в причины, характер и особенности различных видов эмоционального напряжения.

Более того, использованная в 3-м этапе эксперимента методика позволяет определить только общие численные характеристики отдельного участка сигнала тензотрёморографии и сделать выводы, исходя из них, плохо масштабируясь на участки меньше определенного количества измерений. Это ставит значительные ограничения на объем полезной информации, получаемой по итогам эксперимента, а также на выводы, которые могут быть сформированы.

Ключевые элементы работы посвящены изучению результатов тензотрёморографии испытуемых с фильтрацией их на частотах, характерных для физиологического тремора, при условии исключения тремора, на который эмоциональное напряжение влияет не так значительно, а также сопоставлению данных тензотрёморографии с синхронно собираемыми данными физиологических датчиков. Физиологические реакции и данные тензотрёморометрии сопоставлялись для определения наличия выраженной реакции на стимулы.

Основные исследования, касающиеся тремора, проводятся на испытуемых с болезнью Паркинсона, и касаются, таким образом, патологического тремора. В данных исследованиях в основном используется акселерометрия, балочные тензодатчики или же датчики силы на основе токовихревого эффекта. Однако в таком методе как акселерометрия [219] или метод токовихревых датчиков [26] тензодатчики при изучении письма используется крайне редко, поскольку все эти методы склонны к погрешностям, создаваемым движением рук в процессе письма. При использовании измерения и анализе данные тензодатчиков уязвимы к изменению силы при нажатии произвольным образом [109, 110, 144]. Это позволяет сделать вывод о том, что предлагаемые методики имеют право на существование и область использования, в которой их применение не только обоснованно, но и является единственно возможным на текущий момент.

Так, характерный метод исследования с помощью акселерометрии демонстрирует на примере пациентов с Паркинсонизмом, что амплитуда тремора и пиковая частота значительно увеличивались одновременно при треморе покоя в условиях стресса (задание на вычисления) по сравнению с состоянием покоя (без задания на вычисления). Таким образом, типичные характеристики тремора, а именно, снижение частоты при увеличении амплитуды, отличаются в стрессовых ситуациях. В частности, мы обнаружили, что пиковые частоты тремора покоя и постурального тремора были сосредоточены около 5 Гц в состоянии стресса [138].

Данная работа состоит из пяти экспериментов, проводившихся последовательно в качестве опорных друг для друга. В рамках этих экспериментов было последовательно доказано, что эмоциональное напряжение, вызываемое предъявлением эмоционально значимых стимулов, сопряжено с увеличением амплитуды тремора на частотах, характерных для физиологического тремора (8 – 16 Гц), в условиях изометрического сокращения щипковым захватом и что аналогичное увеличение как реакция на напряжение происходит при удержании ручки «штативным» захватом, и затем, что увеличение амплитуды тремора происходит в процессе письма при аналогичных условиях.

В рамках первого эксперимента эмоциональное напряжение вызывалось путем демонстрации стимулов из апробированной базы, а испытуемые получали инструкцию зажать датчик между большим и указательным пальцем, держа руку неподвижно. Такую схему можно считать достаточно стандартной.

Похожее исследование было проведено в 2012 году, по его результатам авторы сообщили об увеличении уровня силы при демонстрации эмоционально значимых стимулов, при сохранении разброса уровня силы по сравнению с группой, которой демонстрировались нейтральные стимулы. Однако, использовался более низкий целевой уровень силы (2% МПС), а источником стимулов стала база IAPS [158].

При этом стимуляция стрессором, не имеющим эмоционально значимого компонента (электрошок), в другом исследовании привела к увеличению разброса уровня силы при небольших целевых значениях МПС [87].

Полученные в ходе нашей работы данные расходятся с результатами Р.Л. Блэкмор и коллег, которые сообщали об отсутствии значимых различий между ситуациями подачи эмоционально значимого стимула и без такового в группе здоровых испытуемых [75]. Такое различие может объясняться ориентацией этого исследования на больных болезнью Паркинсона и соответствующим небольшим размером группы здоровых испытуемых.

Полученные в ходе данной работы результаты также частично согласуются с результатами работы Е.А. Кристоу и коллег [86], проводивших эксперимент по изучению изменения характера треморограммы при подаче удара током, как стрессора, не имеющего при этом эмоциональной значимости. В этом исследовании было показано увеличение тремора на частотах 1 – 2 Гц в группе с пожилыми испытуемыми, в то время как для группы молодых испытуемых значимых отличий амплитуды тремора обнаружено не было. Эти результаты не вполне сходятся с данными, полученными нами на выборке из молодых испытуемых. В то же время, здесь может играть существенную роль наличие эмоциональной значимости в самом стрессоре.

Таким образом, полученные результаты по 1-му этапу эксперимента во многом подтверждают результаты, полученные ранее в работах, использовавших различные стимулы с эмоциональной значимостью и без таковой.

Значимым изменением по сравнению с проводимыми ранее экспериментами стало добавление синхронного сбора физиологических данных (фотоплетизмограммы и электрической активности кожи) как метода подтверждения наличия реакции на эмоционально значимый стимул, а также использование концепции фрагментации данных для более точной оценки момента реакции на стимул.

Второй эксперимент отличался от первого лишь добавлением дополнительных задействованных в удержании датчика групп мышц из-за использования специально сконструированного пера для удержания штативным захватом. В остальном, второй эксперимент проводился по схожему дизайну, что и первый, с использованием аналогичных методов сбора и анализа данных на той же базе стимулов.

В результате удалось получить сходные данные при предъявлении различных стимулов. Различия наблюдались при предъявлении звуковой стимуляции в δ тах, это может говорить о том, что в условиях, когда испытуемым необходимо было удерживать «штативным хватом» ручку и сохранять заданное усилие, удерживать силу на постоянном уровне оказывалось сложнее, это вело к ускорению реакции по сравнению с изометрическим сокращением. По стимулам основной вывод состоит в подтверждении гипотезы о сходном влиянии изменения условия удержания заданного усилия, что, в свою очередь, позволяет говорить об относительно независимом влиянии условия удержания и указывает на возможность проведения динамического эксперимента в процессе письма.

Как основные характеристики для анализа процесса письма в большинстве исследований обычно применяются характеристики кинематические, опирающиеся в основном на положение кончика пера на дигитайзере и производные от него характеристики, а также анализ характерных непосредственно

для процесса письма величин, таких как количество инверсий направления движения на определенном участке письма.

Распространенность этих характеристик [63, 117], по-видимому, обуславливается простотой и дешевизной проведения таких исследований, а также наличием богатого выбора программно-технических решений для их проведения.

Поскольку данная работа опирается на тремор как кинетическую, а не кинематическую характеристику письма, для проведения ряда экспериментов был разработан комплекс из программно-аппаратного модуля сбора данных тензотремографии в процессе письма и методики анализа полученных данных.

В третьем эксперименте использовался именно этот модуль, что позволило затем проанализировать полученные тензотремограммы с помощью спектрографии по методу Уэлча [75, 138, 204, 205], и интерпретировать полученные данные с использованием современного математического аппарата.

Полученные результаты, тем не менее, не вполне совпадают с представлениями о реакции на предъявляемые стимулы, описываемыми, к примеру, в диссертационной работе А.А. Александрова, как сначала спадающую амплитуду тремора, а затем возрастающую. В рамках данной работы наблюдалось исключительно возрастание амплитуды тремора как реакции, что, впрочем, легко объясняется различным характером проводимых экспериментов, поскольку в упомянутой работе тремография проводилась методом акселерометрии, что по необходимости приводит к удержанию пальцев на весу для корректного измерения тремора [2]. В нашем исследовании, измерение тремора производилось в состоянии изометрического сокращения, то есть непосредственной работы мышц, что не могло не повлиять на характер тремора в процессе измерения.

Полученные в результате измерения результаты представляются достоверными и подтверждают поставленные гипотезы. В то же время, характер полученных данных поднимает новые вопросы относительно особенностей исследования эмоционального напряжения при тензотремографии.

В рамках 1-го и 3-го этапов эксперимента была отмечена реакция на эмоционально значимый стимул в виде существенного увеличения амплитуды

тремора. В то же время, абсолютные значения этих изменений оказались весьма разнородны и сильно зависели от индивидуальных особенностей испытуемого, что привело к значительному разбросу значений амплитуд во всех трех исследованиях. Дальнейшее изучение причин такого разброса может оказаться весьма перспективным, поскольку, хотя полученные результаты показывают значимое увеличение амплитуды тремора, отношение медианной амплитуды к среднему её отклонению оказывается близким к единице.

В рамках 4-го и 5-го этапов эксперимента исследовались реакции испытуемых на негативный стимул с компонентом угрозы и без такового. Данные тензотрениграфии показывают, что на стимул с компонентом угрозы в каждом случае возникала реакция замиранья, а на стимул без компонента угрозы возникала реакция возбуждения. Это позволяет разрешить противоречие между данными Е.А. Кристоу, Р.Л. Блэкмор и других исследователей, показывающих повышение амплитуды тремора при демонстрации негативных эмоционально значимых стимулов, и данными М.А. Хагенаарс и Т.М. Азеведо, показывающими реакцию замиранья при демонстрации таких стимулов, подтверждая гипотезу о наличии дополнительного фактора, влияющего на характер реакции в виде компонента угрозы в негативном эмоциональном стимуле [71, 75, 86, 118].

Представляется интересным дальнейшее изучение компонентов и потенциальных субкомпонентов различных эмоциональных стимулов, поскольку результаты исследования позволяют предположить, что и в других случаях различная реакция на эмоциональные стимулы может быть обусловлена не только валентностью и силой стимула, но также и наличием или отсутствием определенных компонентов в стимуле. Более того, различие в характере деавтоматизации при воздействии стимулов с компонентом угрозы и без него показывает, что различие реакции глубоко влияет на повседневную деятельность человека, что открывает широкое поле для дальнейших теоретических и практических изысканий относительно компонентной модели эмоциональных стимулов и вызываемого ими стресса.

Широкий простор для дальнейших исследований предоставляет углубление понимания характера изменения тремора в процессе письма. В рамках данной работы было показано только наличие связи между эмоциональным напряжением, как реакцией на эмоционально значимый стимул, и общим характеристическим увеличением амплитуды тремора на записи с эмоциональным напряжением. Более глубокое понимание характера изменения тремора в процессе письма, и какой-либо зависимости от метода стимуляции, различных эмоционально значимых стимулов и параметров испытуемых может дать больше информации о самом процессе письма как деятельности человека.

Более того, определённые данные эксперимента говорят о различиях влияния эмоционального напряжения на характер письма в зависимости от вида стимула, что может говорить как о статистических флуктуациях или необходимости исследования на больших выборках, так и о том, что эмоциональное напряжение играет большую роль, чем представляется на текущий момент, и, в частности, более значимую роль играет валентность эмоций и, соответственно, валентность предлагаемых стимулов, и, возможно, в более глубокой манере, конкретные компоненты внутри стимулов каждой валентности.

В рамках данной работы было изучено и показано влияние компонента угрозы в рамках негативного эмоционального стимула на автоматизацию процесса письма, и результаты позволяют утверждать, что этот компонент при предъявлении значительно воздействует на характер влияния стимула на реакцию испытуемого. Одним из важных феноменов, наблюдаемых в результате экспериментов, проведенных в ходе этой работы, можно назвать четкое разделение на реакцию замирания и реакцию напряжения в зависимости от наличия или отсутствия этого компонента.

В предлагаемой работе рассматриваются и анализируются ранее существующие подходы к определению эмоций, стресса и возбуждения, и на их основе формируется подходящее для конкретной области и цели исследования определение эмоционального напряжения с учётом всех необходимых для этого критериев и методик. Также предлагается новый метод сбора данных

тензотремографии на основе нового программно-аппаратного комплекса и методы анализа, полученные таким образом.

Показано, что создание эмоционального напряжения путем демонстрации эмоционально значимых стимулов влияет на амплитуду физиологического тремора на частотах 8 – 16 Гц в сторону увеличения, и выявлена связь между такими изменениями и наличием стресса по физиологическим данным. Отличий в результатах исследований для правой и левой руки обнаружено не было. Представляется интересным изучить возможность использования неосновной руки для исследования тремора, однако малая или отсутствующая степень автоматизации письма на ней может создать трудности для различения уровня тремора.

Показано наличие дополнительного фактора реакции на негативный эмоциональный стимул в виде компонента угрозы, и определен характер его влияния на треморовую составляющую выполнения автоматизированных действий на уровнях С и Е по Н.А. Бернштейну, а также показано наличие деавтоматизации на этих уровнях при предъявлении эмоционально значимых стимулов и различие в силе деавтоматизации в зависимости от наличия или отсутствия компонента угрозы в стимуле.

Представляется интересным дальнейшее изучение компонентной структуры различных эмоционально значимых стимулов и разработка компонентной модели описания таких стимулов, расширение и дополнение существующей на текущей момент модели «валентность – сила» стимула. Также интересно изучить влияние наличия или отсутствия определенных компонент на силу стимула, поскольку по результатам исследования возникает гипотеза о различном влиянии стимулов с компонентом угрозы и без такового на значимость стимула в той или иной ситуации.

В ходе исследования разработана и применена на практике методика анализа тремора как кинетической характеристики письма в процессе автоматизированного письма.

Предложенный программно-аппаратный модуль в сочетании с предлагаемой методикой могут быть использованы в значительном спектре задач, связанных с исследованием эмоционального напряжения, в том числе как способ определения эмоционально значимой или скрываемой информации, при определении стрессоустойчивости испытуемых или их способа совладания с эмоционально значимыми ситуациями.

Заключение

В соответствии с задачами исследования были получены следующие результаты:

1) Проведен терминологический анализ существующих моделей стресса и эмоций в контексте определения эмоционального напряжения. Введено определение эмоционального напряжения как состояния человека, вызванного как когнитивными, так и эмоциональными факторами, сопровождающегося набором физиологических реакций возбуждения или обратных им и несущего изменение способности взаимодействовать с внешним миром.

2) Разработан аппаратно-программный комплекс для регистрации и анализа данных ВНС и тензотремографии в процессе письма.

3) Определена связь между физиологическими параметрами ВНС и тензотремограммами при предъявлении стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение.

4) Сравнительный анализ по изометрическому сокращению и подключению более крупных мышечных единиц в эксперименте по удержанию заданного усилия с помощью тензодатчика, встроенного в ручку, показал, что эмоциональное напряжение воздействует сходным образом на статистические показания частотно-амплитудных характеристик тремора.

5) Разработана методика оценки тремора по спектральной мощности в процессе письма. По результатам проведенной апробации показано, что спектральная мощность на частоте 8 – 16 Гц при предъявлении стимулов, вызывающих эмоциональное напряжение, достоверно больше, чем в отсутствии стимулов или при предъявлении нейтрального.

6) Показано, что при демонстрации негативного эмоционально значимого стимула с компонентом угрозы происходит реакция замирания, характерная уменьшением двигательной активности, в частности, амплитуды физиологического тремора на частотах 8 – 16 Гц, в то время как при демонстрации

негативного эмоционально значимого стимула происходит реакция возбуждения, характерная увеличением амплитуды тремора на тех же частотах.

7) Показано наличие деавтоматизации уровней С и Е по Н.А. Бернштейну при демонстрации негативного эмоционально значимого стимула, выражающегося в увеличении количества ошибок при выполнении задачи на уровне С и увеличении количества инверсий при письме для уровня Е. Также описана степень деавтоматизации, различная для уровней С и Е при демонстрации стимулов с компонентом угрозы и без него.

Данное исследование использует новые программно-аппаратные методы, а также математические методики анализа данных физиологического тремора как маркера присутствия эмоционального напряжения в режиме реального времени при демонстрации эмоционально значимых стимулов. Рассматривается и изучается динамика физиологического тремора в диапазоне 8-16 Гц, имеющего центральное происхождение [2, 25, 173, 178].

Выделяется методика автоматизированного исследования тремора с помощью цифровой фильтрации и фрагментного анализа данных, проводится связь между изменением тремора и наличием состояния эмоционального напряжения. Определяются характерные значения увеличения амплитуд, а также характер такого увеличения в разрезе статистического анализа. Предлагается использование фрагментации вместе со статистическим анализом в качестве методики поиска эмоционального напряжения в процессе изометрического сокращения, а также модифицированный метод спектрального анализа в качестве методики поиска такого напряжения в процессе письма.

Предлагаемые методики могут использоваться как индикаторы наличия эмоционального напряжения, поскольку показывают связь между определяемыми индикаторами и наличием эмоционального напряжения по данным датчиков ЭАК и ФПГ.

Одним из вариантов практического применения методики представляется использование её вместе с разработанным аппаратным комплексом как часть специального психофизиологического исследования с применением полиграфа

(СПФИ) при письме или же, как замену части процесса при необходимости проведения такого обследования в полевых условиях с учетом потери определенного количества информации. В настоящий момент развитие технологий и методик треморографии предлагает новые варианты использования треморограмм при детекции скрываемой информации, такие как дистанционная регистрация тремора с помощью лазерной доплеровской виброметрии или же акселерометрические технологии. Однако эти технологии пока не введены в широкий оборот и, к тому же, плохо применимы в процессе письма ввиду наличия значительного количества ограничений технического и эргономического характера. Предлагаемая методика решает некоторую часть этих ограничений, что расширяет спектр ситуаций, в которых треморография может использоваться как дополнительный параметр определения эмоционального напряжения и реакции на эмоционально значимые стимулы в ходе СПФИ, что позволяет использовать её как один из методов исследования для определения наличия скрываемой информации.

В процессе выполнения хирургических операций увеличения тремора под воздействием тревоги и стресса может негативно сказаться на результаты хирургического вмешательства, особенно в микрохирургии. Поэтому результаты исследования в процессе письма с помощью тензодатчиков могут быть в дальнейшем использованы для построения методик и исследования оценки выраженности эмоционального напряжения в процессе выполнения хирургических вмешательств, требующих тонкой координации [67, 122].

Также в рамках работы предлагается расширение модели описания эмоциональных стимулов с включением не только валентности и силы стимулов, но также компонентной составляющей стимулов на примере компонента угрозы в негативном эмоционально значимом стимуле, что позволяет более точно и полно описывать как стимульный материал в рамках исследований. Такое описание расширяет потенциал будущих исследований относительно моделей эмоционального напряжения и может помочь объяснить некоторые противоречивые результаты, имеющиеся в настоящий момент.

Список сокращений и условных обозначений

АЦП – Аналогово-цифровой преобразователь

ВНС – Вегетативная нервная система

ВСР – Вариабельность сердечного ритма

МПС – Максимальное произвольное сокращение

ОПЕП – Оперативные единицы письма

СПФИ – Специальное психофизиологическое исследование

СЭЗ – Смысло-эмоциональная значимость

ФПГ – Фотоплетизмография

ЧСС – Частота сердечных сокращений

ЭАК – Электрическая активность кожи

ЭМГ - Электромиография

Список литературы

1. Александров А.Ю., Уплисова К.О., Степанов А.В., Иванова В.Ю. Использование особенностей физиологического тремора и периферической гемодинамики для оценки эмоциональных реакций, возникающих при сокрытии информации // Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. 2017. С. 1189-1191.
2. Александров А.Ю. Психофизиологические подходы к комплексной оценке динамики эмоциональных состояний: диссертация на соискание степени кандидата биологических наук: 03.03.01 /Александров Антон Юрьевич; Санкт-Петербургский государственный университет. СПб.: Питер, 2018. 116 с.
3. Александров Ю.И. Психофизиология: учебник для вузов. 4-е изд. Под редакцией Ю.И. Александрова. СПб.: Питер, 2014. 464 с.
4. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. 448 с.
5. Аракелов Г.Г., Лысенко Н.Е., Шотт Е.К. Психофизиологический метод оценки тревожности // Психологический журнал. 1992. №. 2. С. 102.
6. Безруких М.М., Крещенко О.Ю. Психофизиологические механизмы формирования навыка письма у детей 6-7 и 9-10 лет // Новые исследования. 2013. №. 4 (37). С. 4-19.
7. Бернштейн Н.А. Кое-что о письме и почерке // Фейгенберг И.М. От рефлекса к модели будущего. М.: Смысл, 2004. 239 с.
8. Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. 350 с.
9. Бернштейн Н.А., Фейгенберг И.М. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990. С. 494.
10. Бричеева Н.Н., Григорьева Н.В. Ситуационное управление при формировании профессионально психологических компетенций с использованием

программно-аппаратного комплекса «ЭГОСКОП» // Экономика и социум. 2015. №. 6-2 (19). С. 296-303.

11. Бухтияров И.В., Жбанкова О.В., Чеснокова Т.Т., Юшкова О.И., Гусев В.Б. Проведение комплексного психофизиологического исследования с использованием полиграфа и биохимических методов при профессиональном отборе кадров // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №. 3-2 (105). С. 58-63.

12. Бьюрстедт Х., Маттель Г. Кардиоваскулярные и дыхательные реакции в период психического стресса // Эмоциональный стресс, физиологические и психологические реакции, медицинские, индустриальные и военные последствия стресса. Л.: Медицина, 1970. С. 109-115.

13. Варава А.Н. Пиктополиграфия в диагностике аффективных расстройств // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2018. Т. 37. №. 1 S1. С. 98-102.

14. Верхало Ю.Н. Электронные приборы для физиологических исследований: (экспонаты радиовыставок). Москва; Ленинград: Энергия, 1964. 40 с.

15. Волнухина Л.В. Физиологическая оценка количественных характеристик произвольных и произвольных движений рук: диссертация на соискание степени кандидата биологических наук: 03.03.01 / Волнухина Людмила Владимировна – Тверской государственный университет, Тверь, 2012. 149 с.

16. Гимазов Р.М. К 125-летию со дня рождения Н.А. Бернштейна: Новое знание в теории построения движений // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. №. 6. С. 156-176.

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

18. Гусенкова А.А., Захарова Л.Ю. Криминалистическое исследование почерковых объектов, выполненных в стрессовом состоянии // Энциклопедия судебной экспертизы. 2020. №. 2. С. 26-31.

19. Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний: Учеб. пособие для биол., психол., и мед. спец. вузов. М.: Изд-во МГУ, 1992. 192 с.
20. Данилова Н.Н. Психофизиология: Учебник для вузов / Н. Н. Данилова. М.: Аспект Пресс, 2012. 368 с.
21. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности. М.: Учебная Литература, 1997. 428 с.
22. Девишвили В.М. Методы изучения движения человека. М.: Изд-во МГУ, 1979. 60 с.
23. Девишвили В.М. Н.А. Бернштейн–основатель современной биомеханики // Национальный психологический журнал. 2015. №. 4 (20). С. 74-78.
24. Девишвили В.М., Мирзад М.А., Романюта В.Г., Судакова Н.Л. Тремор как показатель психофизиологического состояния оператора. В кн.: Эргономика. Вып.6. М.: ВНИИТЭ, 1974. С.107-124.
25. Дик О.Е. Ноздрачев А.Д. Механизмы изменения динамической сложности паттернов физиологических сигналов: монография. СПб: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2019. 200 с.
26. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Веракса А.Н., Филатова, Д.Ю. Сложные системы в психофизиологии представляют эффект «повторение без повторений» Н.А. Бернштейна // Российский психологический журнал. 2016. Т. 13. №. 2. С. 205-224.
27. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Теорема Гленсдорфа-Пригожина в описании хаотической динамики тремора при холодовом стрессе // Экология человека. 2017. №. 5. С. 27-32.
28. Еськов В.М., Филатов М.А., Поскина Т.Ю., Зинченко Ю.П. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. №. 4 (20). С. 66-73.
29. Жбанкова О.В., Гусев В.Б., Сазонова А.А. Психомоторные действия в диагностике острого психоэмоционального стресса и оценке профпригодности //

Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2011. №. 21. С. 42.

30. Зациорский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека /В. М. Зациорский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. М.: Физкультура и спорт, 1981. 143 с.

31. Иванова-Смоленская И.А., Карабанов А.В., Червяков А.В., Иллариошкин С. Н. Современные инструментальные методы регистрации тремора // Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. 2011. №. 2. С. 17-23.

32. Корнев А.Н. Вопросы психологии письма и чтения // Нарушения письма и чтения у детей: изучение и коррекция. 2022. С. 6. / Под общей редакцией О. А. Величенковой. М.: Логомаг, 2018. 372 с.

33. Корнеев А.А. Структурный анализ взаимодействия когнитивных и двигательных компонентов навыка письма: диссертация на соискание степени кандидата психологических наук: Московский. государственный. университет им. М.В. Ломоносова. Факультет психологии, М.: 2005. 136 с.

34. Косицкий Г.И. Цивилизация и сердце /Г.И. Косицкий; Акад. наук СССР. М.: Наука, 1977. 183 с.

35. Котельников В.А. О пропускной особенности «эфира» и проволоки в электросвязи // Матер. к I Всесоюзному съезду по вопросу реконструкции дела связи. М.: Изд. ред. упр. связи РККА. 1933. С. 128-133.

36. Кручинин П.А., Лебедев А.В., Холмогорова Н.В. Особенности частотного анализа сигналов силомоментных датчиков в задаче исследования физиологического тремора // Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. №. 1 (59). С. 64-77.

37. Кульба С.Н. Особенности участия полушарий головного мозга в регуляции психоэмоционального напряжения человека: диссертация на соискание степени кандидата биологических наук: 03.00.13 / Кульба Сергей Николаевич – Ростовский государственный университет. Ростов на Дону, 1997. 121 с.

38. Леонова А.Б., Кузнецова А.С. Функциональные состояния и работоспособность человека в профессиональной деятельности // Психология

труда, инженерная психология и эргономика. Под редакцией Е.А. Климова, О.Г. Носковой, Г.Н. Солнцевой. М: Юрайт, 2016. С. 274-298.

39. Леонтьев А.А. Психолингвистика. Л.: Наука, 1967. 118 с.
40. Линевич В.Л. Психофизиологические предикторы дискоординации почерка при стрессе. Диссертация на соискание степени кандидата психологических наук: 19.00.02 /Линевич Владимир Леонтьевич; Уфимский факультет психологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Уфа., 1998. 148 с.
41. Лурия А.Р. Очерки психофизиологии письма. М.: АПН РСФСР, 1950. 156 с.
42. Люсин Д.В. Трехмерная модель структуры эмоциональных состояний, основанная на русскоязычных данных // Психология. Журнал высшей школы экономики. 2019. Т. 16. №. 2. С. 341-356.
43. Микадзе Ю.В., Скворцов А.А., Козинцева Е.Г., Зайкова А.В., Иванова М.В. Психологическое строение письменной речи в современной зарубежной нейропсихологии // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2012. №. 2. С. 21-30.
44. Негодина О.А. Роль учения Н.А. Бернштейна в развитии судебного почерковедения // Правовые проблемы укрепления российской государственности. 2020. С. 194-195.
45. Орлова В.Ф. Судебно-почерковедческая диагностика. М.: Юнити-Дана, 2006. 160 с.
46. Пальцев Е.И. К вопросу об изменениях спектрального состава тремора в зависимости от характера двигательной задачи // Биофизика. 1964. Т. 9. вып. 6. С. 205
47. Селье Г. Стресс без дистресса. М.: Прогресс, 1979. 124 с.
48. Серегин В.В. Орлова В.Ф., Бобовкин М.В. Почерковедение и почерковедческая экспертиза учебник. Волгоград: ВА МВД России, 2007. 338 с.
49. Симонов П.В. Эмоциональный мозг: физиология. Нейроанатомия. Психология эмоций /П.В. Симонов. Москва: Наука, 1981. 214 с.

50. Скоморохов А.А., Ершов В.И. Инновационная технология психологического и психофизиологического тестирования с автодокументированием и контролем физиологических и психомоторных показателей // Спортивный психолог. 2014. №. 5. С. 72-77.

51. Суворова В.В. Психофизиология стресса. М.: Педагогика, 1975. 318 с.

52. Судаков К.В. Эмоциональный стресс: теоретические и клинические аспекты /К. В. Судаков, В.И. Петров, К. В. Гавриков и др. Волгоград: Волгоградская медакадемия, 1997. 168 с.

53. Сулавко А.Е., Самогута А.Е. Влияние психофизиологического состояния подписантов на биометрические параметры рукописных образов и результаты их верификации // Информационно-управляющие системы. 2017. №. 6 (91). С. 29-42.

54. Фаликман М. В. Современные исследования взаимосвязи становления когнитивных и двигательных функций: предпосылки успешного освоения письма // Психолого-педагогические исследования. 2009. №. 1(1). С. 1-28.

55. Филатов М.А. Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №. 1. С. 24-32

56. Хадарцев А.А., Пятин В.Ф., Еськов В.В., Веденева Т.С., Игнатенко А.П. Реализация гипотезы Н.А. Бернштейна о «повторении без повторений» // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2020. №. 3. С. 24-30.

57. Цветкова Л.С. Нейропсихология счета, письма и чтения: нарушение и восстановление /Л.С. Цветкова. М.: МПСИ, 2000. 304 с.

58. Черноризов А.М. Девишвили В.М., Исайчев С.А., Назаров К.С. Перспективные направления в изучении движений и сенсомоторной координации: фундаментальные проблемы и прикладные аспекты // Фундаментальные и прикладные исследования современной психологии: результаты и перспективы развития. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2017. С. 1625-1632.

59. Шкоропат Е.А., Волкова С.В. Возможности диагностирования состояния сильного душевного волнения исполнителя рукописи // Актуальные

вопросы судебной психологической экспертизы и комплексной экспертизы с участием психолога. Перспективы научного и прикладного исследования почерка. 2019. С. 43-47.

60. Шкоропат Е.А. Теоретические и методические аспекты диагностирования необычных психофизиологических состояний исполнителя рукописи по почерку: диссертация на соискание степени кандидата юридических наук. 12.00.09 / Шкоропат Елена Антоновна; Волгоградская академия МВД России Волгоград, 2008. 230 с.

61. Щербатых Ю.В. Вегетативные проявления экзаменационного стресса // Прикладные информационные аспекты медицины. 1999. Т. 2. №. 1. С. 72-74.

62. Aiken C.A., Odom S.B., van Gemmert A.W.A. Stress and Motor Learning: Does the Presentation of Physical or Cognitive Stress Influence Motor Skill Acquisition? Drawing, Handwriting Processing Analysis: New Advances and Challenges. 2015. P. 119-123.

63. Alamargot D., Chesnet D., Dansac C., Ros C. Eye and pen: A new device for studying reading during writing. Behavior research methods. 2012. 38(2). P. 287-299.

64. Aleksandrov A.Y., Uplisova K.O., Ivanova V.Y. Biofeedback Specialization Effect on Physiological Tremor Amplitude Dynamics. Human Physiology. 2020. 46(2). P. 127-133.

65. Allum J.H., Dietz V., Freund H.J. Neuronal mechanisms underlying physiological tremor. Journal of Neurophysiology. 1978. 41(3). P. 557-571.

66. Arimoto S., Hashiguchi H., Sekimoto M. Natural resolution of DOF redundancy in execution of robot tasks under the gravity: A challenge to Bernstein's problem and applications to handwriting robots. ICAR'05, Proceedings, 12th International Conference on Advanced Robotics. 2005. P. 51-57.

67. Arora S., Sevdalis N., Nestel D., Woloshynowych M., Darzi A., Kneebone R. The impact of stress on surgical performance: a systematic review of the literature. Surgery. 2010. 147(3). P. 318-330.

68. Atkinson J.W., Raynor J.O. Subjective aspects of achievement motivation immediately before an examination. *Motivation and achievement*. 1974. 10. P. 271-326.
69. Attneave F. Applications of information theory to psychology: A summary of basic concepts, methods, and results. 1959. 120 p.
70. Ayzeren Y.B., Erbilek M., Çelebi E. Emotional state prediction from online handwriting and signature biometrics. *IEEE Access*. 2019. 7. P. 164759-164774.
71. Azevedo T.M., Volchan E., Imbiriba L., Rodrigues E., Oliveira J., Oliveira L., Lutterbach L., Vargas C.A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*. 2005. 42(3). P. 255-260.
72. Bakker I., van der Voordt T., Vink P., de Boon J. Pleasure, arousal, dominance: Mehrabian and Russell revisited // *Current Psychology*. 2014. 33(3). P. 405-421.
73. Barret L.F., Wager T.D. The Structure of Emotion: Evidence From Neuroimaging Studies. *Current Directions in Psychological Science*. 2006. 15(2). P. 79-83.
74. Baur B., Fürholzer W., Jasper I., Marquardt C., Hermsdörfer, J. Effects of modified pen grip and handwriting training on writer's cramp. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2009. 90(5). P. 867-875.
75. Blakemore R.L. MacAskill' M.R., Shoorangiz R., Anderson T.J. Stress-evoking emotional stimuli exaggerate deficits in motor function in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*. 2018. 112. P. 66-76.
76. Blakemore R.L., Rieger S.W., Vuilleumier P. Negative emotions facilitate isometric force through activation of prefrontal cortex and periaqueductal gray. *Neuroimage*. 2016. 124. P. 627-640.
77. Blakemore R.L., Vuilleumier P. An emotional call to action: Integrating affective neuroscience in models of motor control. *Emotion Review*. 2017. 9(4). P. 299-309.
78. Bonnet L., Comte A., Tatu L., Millot J., Moulin T., Medeiros de Bustos E. The role of the amygdala in the perception of positive emotions: an “intensity detector”. *Frontiers in behavioral neuroscience*. 2015. 9. P. 1-12.

79. Braithwaite J.J., Watson D.G., Robert J., Mickey R. A guide for analysing electrodermal activity (EDA) & skin conductance responses (SCRs) for psychological experiments. *Psychophysiology*. 2013. 49(1). P. 1017-1034.
80. Cambria E., Fu J., Bisio F., Poria S. AffectiveSpace 2: Enabling affective intuition for concept-level sentiment analysis. *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*. 2015. 29(1). P. 508-514.
81. Cambria E., Livingstone A., Hussain A. The hourglass of emotions. *Cognitive Behavioural Systems: COST 2012 International Training School, Dresden, Germany, February 21-26, 2011, Revised Selected Papers*. Springer Berlin Heidelberg. 2012. P. 144-157.
82. Campbell J., Ehlert U. Acute psychosocial stress: does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*. 2012. 37(8). P. 1111-1134.
83. Carignan B., Daneault J.F., Duval C. The amplitude of physiological tremor can be voluntarily modulated. *Experimental brain research*. 2009. 194(2). P. 309-316.
84. Case-Smith J., Allen A.S., Pratt P.N. *Occupational therapy for children*. St. Louis: Mosby. 1996. P. 67-98.
85. Chau T., Ji J., Tam C., Schweltnus H. A novel instrument for quantifying grip activity during handwriting. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2006. 87(11). P. 1542-1547.
86. Christou E.A., Jakobi J.M., Critchlow A., Fleshner M., Enoka R.M. The 1- to 2-Hz oscillations in muscle force are exacerbated by stress, especially in older adults. *Journal of applied physiology*. 2004. 97(1). P. 225-235.
87. Christou E.A. Visual feedback attenuates force fluctuations induced by a stressor. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2005. 37(12). P. 2126-2133.
88. Colibazzi T., Posner J., Wang Z., Gorman D., Gerber A., Yu S., Zhu H., Kangarlu A., Duan Y., Russell J., Peterson B. Neural systems subserving valence and arousal during the experience of induced emotions. *Emotion*. 2010. 10(3). P. 377-389
89. Coombes S.A., Cauraugh J.H., Janelle C.M. Emotional state and initiating cue alter central and peripheral motor processes. *Emotion*. 2007. 7(2). P. 275-284

90. Daneault J.F., Carignan B., Duval C. Bilateral effect of a unilateral voluntary modulation of physiological tremor. *Clinical neurophysiology*. 121(5). P. 734-743.
91. Dazzi C., Pedrabissi L. Graphology and personality: an empirical study on validity of handwriting analysis. *Psychological reports*. 2009. 105(3). P. 1255-1268.
92. Donica D.K., Massengill M., Gooden M.J. A quantitative study on the relationship between grasp and handwriting legibility: does grasp really matter? *Journal of Occupational Therapy, Schools, & Early Intervention*. 2018. 11(4). P. 411-425.
93. Duffy E. *Activation and behavior*. New York: Wiley. 1962. 384 p.
94. Ekkekakis P. Affect, mood, and emotion. *Measurement in sport and exercise psychology*. *Human Kinetics*. 2012. P. 321–332.
95. Ekman P., Cordaro D. What is meant by calling emotions basic. *Emotion review*. 2011. 3(4). P. 364-370.
96. Elble R.J. Mechanism of physiological tremor and relationship to essential tremor. *Handbook of tremor disorders*. 1995. P. 51-62.
97. Elble R.J., Randall J.E. Motor-unit activity responsible for 8-to 12-Hz component of human physiological finger tremor. *Journal of Neurophysiology*. 1976. 39(2). P. 370-383.
98. Ellis A.W. Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias. *Language and cognitive processes*. 1988. 3(2). P. 99-127.
99. Epps T.W., Singleton K.J. An omnibus test for the two-sample problem using the empirical characteristic function. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 1986. 26(3-4). P. 177-203.
100. Esteves P.O., Oliveira L.A.S., Nogueira-Campos A.A., Saunier G., Pozzo T., Oliveira J.M., Rodrigues E.C., Volchan E., Vargas C.D. Motor planning of goal-directed action is tuned by the emotional valence of the stimulus: a kinematic study. *Scientific Reports*. 2016. 6(1). P. 1-7.
101. Fairhurst M., Erbilek M., Li C. Study of automatic prediction of emotion from handwriting samples. *IET Biometrics*. 2015. 4(2). P. 90-97.

102. Faundez-Zanuy M., Fierrez J., Ferrer M.A., Diaz M., Tolosana R., Plamondon R. Handwriting biometrics: Applications and future trends in e-security and e-health. *Cognitive Computation*. 2020. 12(5). P. 940-953.
103. Fink G. Stress: definition and history. *Stress science: neuroendocrinology*. 2009. 3(9). P. 549-555.
104. Fitts P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology*. 1954. 47(6). P. 381-391.
105. Frigge M., Hoaglin D.C., Iglewicz B. Some implementations of the boxplot. *The American Statistician*. 1989. 43(1). P. 50-54.
106. Fumarola F., Ciampi A., Appice A., Malerba D. A sliding window algorithm for relational frequent patterns mining from data streams. *International Conference on Discovery Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2009. P. 385-392.
107. Garg D., Verma G.K. Emotion recognition in valence-arousal space from multi-channel EEG data and wavelet based deep learning framework. *Procedia Computer Science*. 2020. 171. P. 857-867.
108. Gavrilescu M., Vizireanu N. Predicting the Big Five personality traits from handwriting. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2018. 2018(1). P. 1-17.
109. Ghali B., Thalanki A.N., Chan J., Chau T. Variability of grip kinetics during adult signature writing. *PLoS One*. 2013. 8(5). P. 1-10.
110. Ghali B., Mamun K.A., Chau T. Long term consistency of handwriting grip kinetics in adults. *Journal of biomechanical engineering*. 2014. 136(4). P. 1-7.
111. Giannakakis G., Grigoriadis D., Giannakaki K., Simantiraki O., Roniotis A., Tsiknakis M. Review on psychological stress detection using biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2019. P. 1-22
112. Glass D.C., Singer J.E. Behavioral aftereffects of unpredictable and uncontrollable aversive events: Although subjects were able to adapt to loud noise and other stressors in laboratory experiments, they clearly demonstrated adverse aftereffects. *American Scientist*. 1972. 60(4). P. 457-465.

113. Goerg S.J., Kaiser J. Nonparametric testing of distributions—the Epps–Singleton two-sample test using the empirical characteristic function. *The Stata Journal*. 2009. 9(3). P. 454-465.
114. Graham S., Schafer W., Berninger V., Weintraub N. Development of handwriting speed and legibility in grades 1–9. *The Journal of Educational Research*. 1998. 92(1). P. 42-52.
115. Greco A., Valenza G., Lanata A., Scilingo E.P., Citi L. CvxEDA: A convex optimization approach to electrodermal activity processing. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2016. 63(4). P. 797-804.
116. Grimaldi G., Manto M. Tremor: from pathogenesis to treatment. *Synthesis lectures on biomedical engineering*. 2008. 3(1). P. 1-212.
117. Guinet E., Kandel S. Ductus: A software package for the study of handwriting production. *Behavior research methods*. 2010. 42(1). P. 326-332.
118. Hagedaars M.A., Oitzl M., Roelofs K. Updating freeze: aligning animal and human research. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2014. 47. P. 165-176.
119. Halder-Sinn P., Enkelmann C., Funsch K. Handwriting and emotional stress. *Perceptual and motor skills*. 1998. 87(2). P. 457-458.
120. Han J., Chernyshov G., Zheng D., Gao P., Narumi T., Wolf K., Kunze K. Sentiment pen: Recognizing emotional context based on handwriting features. *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conferenc 2019*. 2019. P. 1-8.
121. Hanoch Y., Vitouch O. When less is more: Information, emotional arousal and the ecological reframing of the Yerkes-Dodson law. *Theory & Psychology*. 2004. 14(4). P. 427-452.
122. Hanrahan J., Sideris M., Pasha T., Tsitsopoulos P.P., Theodoulou I., Nicolaides, M., Georgopoulou E.M., Kombogiorgas D., Bimpis A., Papalois A. Hands train the brain—what is the role of hand tremor and anxiety in undergraduate microsurgical skills? *Acta Neurochirurgica*. 2018. 160. P. 1673-1679.
123. Harris T.L., Rarick G.L. The problem of pressure in handwriting. *The Journal of Experimental Education*. 1957. 26(2). P. 151-178.

124. Harris T.L., Rarick G.L. The relationship between handwriting pressure and legibility of handwriting in children and adolescent. *The Journal of Experimental Education*. 1959. 28(1). P. 65-84.
125. Hermsdörfer J., Marquardt, C., Schneider, A., Fürholzer, W., Baur, B. Significance of finger forces and kinematics during handwriting in writer's cramp. *Human movement science*. 2011. 30(4). P. 807-817.
126. Herrick V.E., Otto W. Pressure on point and barrel of a writing instrument. *The Journal of Experimental Education*. 1961. 30(2). P. 215-230.
127. Hollerbach J.M. An oscillation theory of handwriting // *Biological cybernetics*. 1981. 39(2). P. 139-156.
128. Hooke A.W., Park J., Shim J.K. The forces behind the words: development of the kinetic pen. *Journal of biomechanics*. 2008. 41(9). P. 2060-2064.
129. Hsu H.M., Lin Y.C., Lin W.J., Lin C.J., Chao Y. Li, Kuo L.C. Quantification of handwriting performance: Development of a force acquisition pen for measuring hand-grip and pen tip forces. *Measurement*. 2013. 46(1). P. 506-513.
130. Keinan G., Eilat-Greenberg S. Can stress be measured by handwriting analysis? The effectiveness of the analytic method. *Applied psychology: an international review*. 1993. P. 153–170.
131. Kisel'nikov A.A., Sergeev A.A., Vinit'skiy D.A. A four-dimensional spherical model of interaction between color and emotional semantics. *Psychology in Russia: State of the art*. 2019. 12(1). P. 48-66.
132. Köster B., Lauk M., Timmer J., Winter T., Guschlbauer B., Glocker F.X., Danek A., Deuschl G., Lücking C.H. Central mechanisms in human enhanced physiological tremor. *Neuroscience letters*. 1998. 241(2-3). P. 135-138.
133. Kuppens P., Tuerlinckx F., Russell J.A., Barrett L.F. The relation between valence and arousal in subjective experience. *Psychological bulletin*. 2013. 139(4). P. 917-940.
134. Lader M. *The psychophysiology of mental illness*. Routledge and Kegan Paul. 1975. 270 p.

135. Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention. 1997. 1(39-58). P. 1-5.
136. Lansing R.W. Relation of brain and tremor rhythms to visual reaction time. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. 1957. 9(3). P. 497-504.
137. Lazarus R.S. *Stress and emotion: A new synthesis*. Springer publishing company. 2006. 360 p.
138. Lee H.J., Lee W.W., Kim S.K., Park H., Jeon H.S., Kim H.B., Jeon B.S., Park K.S. Tremor frequency characteristics in Parkinson's disease under resting-state and stress-state conditions. *Journal of the neurological sciences*. 2016. 362. P. 272-277.
139. Lens W., De Volder M. Achievement motivation and intelligence test scores: A test of the Yerkes-Dodson hypothesis. *Psychologica Belgica*. 1980. P. 49-59.
140. Levi L. Introduction: Psychosocial stimuli, psychophysiological reactions, and disease. *Stress and distress in response to psychosocial stimuli*. 1972. P. 11-27.
141. Lewis P.A., Critchley H.D., Rotshtein P., Dolan R.J. Neural correlates of processing valence and arousal in affective words. *Cerebral cortex*. 2007. 17(3). P. 742-748.
142. Likforman-Sulem L., Esposito A., Faundez-Zanuy M., Clemencon S., Cordasco G. EMOTHAW: A novel database for emotional state recognition from handwriting and drawing. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*. 2017. 47(2). P. 273-284.
143. Lin Y.C., Chao Y.L., Wu S.K., Lin H.H., Hsu C.H., Hsu H.M., Kuo L.C. Comprehension of handwriting development: Pen-grip kinetics in handwriting tasks and its relation to fine motor skills among school-age children. *Australian Occupational Therapy Journal*. 2017. 64(5). P. 369-380.
144. Lin Y.C., Chao Y.L., Hsu C.H., Hsu H.M., Chen P.T., Kuo L.C., The effect of task complexity on handwriting kinetics. *Canadian Journal of Occupational Therapy*. 2019. 86(2). P. 158-168.
145. Lindsley D.B. *Emotion*. Handbook of experimental psychology. New York: Wiley. 1951. 1436 p.

146. Longstaff M.G., Heath R.A. The influence of tremor on handwriting performance under conditions of low and intermediate physical stress. *Journal of Forensic Document Examination*. 2000. 13. P. 25-44.
147. Luria G., Kahana A., Rosenblum S. Detection of deception via handwriting behaviors using a computerized tool: Toward an evaluation of malingering. *Cognitive Computation*. 2014. 6. P. 849-855.
148. Luria G., Rosenblum S. Comparing the handwriting behaviours of true and false writing with computerized handwriting measures. *Applied Cognitive Psychology*. 2010. 24(8). P. 1115-1128.
149. Mai N.A., Marquardt C. A computational procedure for movement analysis in handwriting. *Journal of neuroscience methods*. 1994. 52(1). P. 39-45.
150. Makowski D., Pham T., Lau Z.J., Brammer J.C., Lespinasse F., Pham H., Schölzel C., Chen S.H.A. NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing. *Behavior Research Methods*. 2021. P. 1-8.
151. Mansur P.H.G., Cury L.K.P., Andrade A.O., Pereira A.A., Miotto G.A.A., Soares A.B., Naves E.L.M. A review on techniques for tremor recording and quantification. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*. 2007. 35(5). P. 343-362.
152. Mekhaznia T., Djeddi C., Sarkar S. Personality traits identification through handwriting analysis *Pattern Recognition and Artificial Intelligence: 4th Mediterranean Conference, MedPRAI 2020, Hammamet, Tunisia, December 20–22, 2020, Proceedings 4*. Springer International Publishing. 2021. P. 155-169.
153. Mergl R. Juckel G., Rihl J., Henkel V., Karner M., Tigges P., Schröter A., Hegerl U. Kinematical analysis of handwriting movements in depressed patients. *Acta Psychiatrica Scandinavica*. 2004. 109(5). P. 383-391.
154. Meyer D.E., Abrams R.A., Kornblum S., Wright C.E., Smith J.E.K. Optimality in human motor performance: ideal control of rapid aimed movements. *Psychological review*. 1988. 95(3). P. 340-370.
155. Mountcastle V.B., Motter B.C., Andersen R.A. Some further observations on the functional properties of neurons in the parietal lobe of the waking monkey. *Behavioral and Brain Sciences*. 1980. 3(4). P. 520-523.

156. Murphy F.C., Nimmo-Smith I., Lawrence A. D. Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(3), P. 207-233.
157. Nagamori A., Laine C., Loeb G.E., Valero-Cuevas F.J. Force variability is mostly not motor noise: Theoretical implications for motor control. *PLoS computational biology*. 2021. 17(3). P. 1-44.
158. Naugle K.M., Coombes S.A., Cauraugh J.H., Janelle C.M. Influence of emotion on the control of low-level force production. *Research quarterly for exercise and sport*. 2012. 83(2). P. 353-358.
159. Neiss R. Reconceptualizing arousal: psychobiological states in motor performance. *Psychological bulletin*. 1988. 103(3). P. 345–366.
160. Neter E., Ben-Shakhar G. The predictive validity of graphological inferences: A meta-analytic approach. *Personality and Individual differences*. 1989. 10(7). P. 737-745.
161. Nolazco-Flores J.A., Faundez-Zanuy M., Velazquez-Flores O.A., Cordasco G., Esposito A. Emotional state recognition performance improvement on a handwriting and drawing task. *IEEE Access*. 2021. 9. P. 28496-28504.
162. Nolazco-Flores J.A., Faundez-Zanuy M., Velázquez-Flores O.A., Del-Valle-soto C., Cordasco G., Esposito A. Mood state detection in handwritten tasks using PCA–mFCBF and automated machine learning. *Sensors*. 2022. 22(4). P. 1-22
163. Novak T.S., Wilson S.M., Newell K.M. Establishing Task-Relevant MVC Protocols for Modelling Sustained Isometric Force Variability: A Manual Control Study. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2021. 6(4). P. 1-13.
164. Novak T., Newell K.M. Physiological tremor (8–12 Hz component) in isometric force control. *Neuroscience letters*. 2017. 641. P. 87-93.
165. Palmis S., Danna, J., Velay J.L. Longcamp M. Motor control of handwriting in the developing brain: A review. *Cognitive Neuropsychology*. 2017. 34(3-4). P. 187-204

166. Phan K.L., Wager T., Taylor S.F., Liberzon, I. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*. 2002. 16(2). P. 331-348.
167. Plamondon R. A kinematic theory of rapid human movements: Part I. Movement representation and generation. *Biological cybernetics*. 1995. 72(4). P. 295-307.
168. Plutchik R. The nature of emotions: Human emotions have deep evolutionary roots, a fact that may explain their complexity and provide tools for clinical practice. *American scientist*. 2001. 89(4). P. 344-350.
169. Portugal, L.C.L., Alves, R.D.C.S., Junior, O.F., Sanchez, T.A., Mocaiber, I., Volchan, E., Erthal F.S, David I.A., Kim J., Oliveira L., Padmala S., Chen G., Pessoa L., Pereira, M. G. Interactions between emotion and action in the brain. *NeuroImage*. 2020. 214. P. 1-15.
170. Posner J., Russell J.A., Gerber A., Gorman D., Colibazzi T., Yu S., Wang Z., Kangarlu A., Zhu H., Peterson B. S. The neurophysiological bases of emotion: An fMRI study of the affective circumplex using emotion-denoting words. *Human brain mapping*. 2009. 30(3). P. 883-895.
171. Powell G.M., Dzenolet E. Power spectral density analysis of lateral human standing sway. *Journal of motor behavior*. 1984. 16(4). P. 424-441.
172. Pullman S.L. Spiral analysis: a new technique for measuring tremor with a digitizing tablet. *Movement disorders*. 1998. 13(S3). P. 85-89.
173. Raethjen J., Pawlas F., Lindemann M., Wenzelburger R., Deuschl G. Determinants of physiologic tremor in a large normal population. *Clinical neurophysiology*. 2000. 111(10). P. 1825-1837.
174. Raethjen J., Austermann K., Witt K., Zeuner K.E., Papengut F., Deuschl G. Provocation of Parkinsonian tremor. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*. 2008. 23(7). P. 1019-1023.
175. Rahman A.U., Halim Z. Identifying dominant emotional state using handwriting and drawing samples by fusing features. *Applied Intelligence*. 2023. 53(3). P. 2798-2814.

176. Ramirez A., Lasater T.L. Attitudinal and behavioral reactions to fear-arousing communications. *Psychological Reports*. 1976. 38(3). P. 811-818.
177. Rispler C. Luria G., Kahana A., Rosenblum S. Mood impact on automaticity of performance: Handwriting as exemplar. *Cognitive Computation*. 2018. 10(3). P. 398-407.
178. Romanov S.P., Aleksanyan, Z.A., Lyskov, E.B., Merkulova, N.A., Romanova, L.I. Correlates of measures of voluntary force with the functional state of the motor system. *Neuroscience and behavioral physiology*. 2006. 36(4). P. 391-401.
179. Rosenblum S., Weiss P.L., Parush S. Handwriting evaluation for developmental dysgraphia: Process versus product. *Reading and writing*. 2004. 17(5). P. 433-458.
180. Russell J.A. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*. 1980. 39(6). P. 1161-1178.
181. Russell J.A., Ward L.M., Pratt G. Affective quality attributed to environments: A factor analytic study. *Environment and behavior*. 1981. 13(3). P. 259-288.
182. Sassoon R., Nimmo-Smith I., Wing A.M. An analysis of children's penholds. *Advances in Psychology*. North-Holland. 1986. 37. P. 93-106.
183. Scherer K.R., Borod J.C. Psychological models of emotion. *The neuropsychology of emotion*. 2000. 137(3). P. 137-162.
184. Schmidt R.A., Brian H., Howard Z., James S.F., John T.Q. Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*. 1979. 86(5). P. 415-451.
185. Selin A.S. Pencil grip: a descriptive model and four empirical studies. 2003. 127 p.
186. Shannon C.E. A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*. 1948. 27(3). P. 379-423.
187. Slifkin A.B., Newell K.M. Noise, information transmission, and force variability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1999. 25(3). P. 837-851.

188. Smejkal V., Sieger L., Kodl J. The influence of stress on biometric signature stability. 2016 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST). IEEE. 2016. P. 1-5.
189. Smyth M.M., Silvers G. Functions of vision in the control of handwriting. *Acta Psychologica*. 1987. 65(1). P. 47-64.
190. Styliadis C., Ioannides A.A., Bamidis P.D., Papadelis C. Distinct cerebellar lobules process arousal, valence and their interaction in parallel following a temporal hierarchy. *Neuroimage*. 2015. 110. P. 149-161.
191. Teigen K.H. Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*. 1994. 4(4). P. 525-547.
192. Teulings H.L. Handwriting movement control. *Handbook of perception and action*. Academic Press. 1996. 2. P. 561-613.
193. Thayer R.E. *The biopsychology of mood and arousal*. Oxford University Press. 1990. 256 p.
194. Tucha O., Tucha L., Lange K.W. Graphonomics, automaticity and handwriting assessment. *Literacy*. 2008. 42(3). P. 145-155.
195. Ugurlu B., Kandemir R., Carus A., Ercan A. An expert system for determining the emotional change on a critical event using handwriting features. *TEM Journal*. 2016. 5(4). P. 480-486.
196. Vaillancourt D.E., Newell K.M. Amplitude changes in the 8–12, 20–25, and 40 Hz oscillations in finger tremor. *Clinical neurophysiology*. 2000. 111(10). P. 1792-1801.
197. Vaillancourt D.E., Slifkin A.B., Newell K.M. Intermittency in the visual control of force in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*. 2001. 138(1). P. 118-127.
198. Vaillancourt D.E., Thulborn K.R., Corcos D.M. Neural basis for the processes that underlie visually guided and internally guided force control in humans. *Journal of neurophysiology*. 2003. 90(5). P. 3330-3340.

199. Van Den Heuvel C.E., Van Galen G.P., Teulings H.L., Van Gemmert A. W.A. Axial pen force increases with processing demands in handwriting. *Acta psychologica*. 1998. 100(1-2). P. 145-159.
200. Van Drempt N., McCluskey A., Lannin N.A. A review of factors that influence adult handwriting performance. *Australian occupational therapy journal*. 2011. 58(5). P. 321-328.
201. Van Galen G.P., Portier S.J., Smits-Engelsman B.C.M., Schomaker L.R.B. Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica*. 1993. 82(1-3). P. 161-178.
202. Van Galen G.P. Handwriting: Issues for a psychomotor theory. *Human movement science*. 1991. 10(2-3). P. 165-191.
203. Van Galen G.P., de Jong W.P. Fitts' law as the outcome of a dynamic noise filtering model of motor control. *Human movement science*. 1995. 14(4-5). P. 539-571.
204. Van Galen G.P., Schomaker L.R. B. Fitts' law as a low-pass filter effect of muscle stiffness. *Human movement science*. 1992. 11(1-2). P. 11-21.
205. Van Galen G.P., Van Doorn R.R., Schomaker L.R. Effects of motor programming on the power spectral density function of finger and wrist movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1990. 16(4). P. 755-765.
206. Van Gemmert A.W.A., Van Galen G.P. Stress, neuromotor noise, and human performance: a theoretical perspective. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1997. 23(5). P. 1299–1313.
207. Vartanov A.V., Vartanova I.I. Four-dimensional spherical model of emotions. *Procedia computer science*. 2018. 145. P. 604-610.
208. Volchan E. Rocha-Rego V., Bastos A.F., Oliveira J.M., Franklin C., Gleiser S., Berger W., Souza G.G.L., Oliveira L., David I.A. Immobility reactions under threat: a contribution to human defensive cascade and PTSD. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017. 76. P. 29-38.
209. Wampfler R., Klingler S., Solenthaler B., Schinazi V.R., Gross M. Affective state prediction in a mobile setting using wearable biometric sensors and stylus.

Proceedings of the 12th International Conference on Educational Data Mining, EDM 2019, Montréal, Canada, July 2-5, 2019. International Educational Data Mining Society (IEDMS) 2019. – Université du Québec; Polytechnique Montréal. 2019. P. 198-207.

210. Wann J., Nimmo-Smith I. The control of pen pressure in handwriting: A subtle point. *Human movement science*. 1991. 10(2-3). P. 223-246.

211. Watson D., Wiese D., Vaidya J., Tellegen A. The two general activation systems of affect: Structural findings, evolutionary considerations, and psychobiological evidence. *Journal of personality and social psychology*. 1999. 76(5). P. 820-838

212. Weierich M.R., Kleshchova O., Rieder J.K., Reilly D.M. The complex affective scene set (COMPASS): Solving the social content problem in affective visual stimulus sets. *Collabra: Psychology*. 2019. 5(1). P. 1-16

213. Welch P. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on audio and electroacoustics*. 1967. 15(2). P. 70-73

214. Winston J.S., Gottfried J.A., Kilner J.M., Dolan R.J. Integrated neural representations of odor intensity and affective valence in human amygdala. *Journal of Neuroscience*. 2005. 25(39). P. 8903-8907.

215. Yatbaz H.Y., Erbilek M. Deep Learning Based Stress Prediction From Offline Signatures. 2020 8th International Workshop on Biometrics and Forensics (IWBF). IEEE. 2020. P. 1-6.

216. Yerkes R.M., Dodson J.D. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Punishment: Issues and experiments*. 1908. P. 27-41.

217. Yi P., Karim S.A., Zaki M.A., Yin E.T.L. Assessment of the mood states on healthy adults' handwriting through forensic handwriting examination vs graphology-A review. *International Journal of Medical Toxicology & Legal Medicine*. 2019. 22(3-4). P. 57-62.

218. Yik M., Russell J.A., Steiger J.H. A 12-point circumplex structure of core affect. *Emotion*. 2011. 11(4). P. 705-731.

219. Zajki-Zechmeister T., Kögl M., Kalsberger K., Franthal S., Homayoon N., Katschnig-Winter P., Wenzel K., Zajki-Zechmeister L., Schwingenschuh P. Quantification of tremor severity with a mobile tremor pen. *Heliyon*. 2020. 6(8). P. 1-8
220. Ziegelstein R.C. Acute emotional stress and cardiac arrhythmias. *Jama*. 2007. 298(3). P. 324-329.

Приложение

Таблица 7

Исследования связи письма и его характеристик с эмоциональными состояниями

№	Автор/год	Испытуемые	Характеристики письма*	Вид психологического воздействия (Стресс, эмоциональное, когнитивное)	Метод анализа	Физиологические переменные	Результат
1	Wampfler R. et al (2019) [209]	88 испытуемых (45 женщин) в возрасте от 18 до 29 лет	Данные цифрового планшета (ПО Wacom)	Стресс (математические задачи) + эмоции (IAPS)	Машинное обучение (четыре различных классификатора Random Forest, SVM, KNN и Gaussian Naive Bayes)	да (КГР, Температура, ВСР)	Random forest: Определенные аффектов по матрицам с помощью стилуса точность 59%, по биосенсорам 60%. Комбинация биодатчик и+стилус – 64%. Определение аффектов по IAPS – 42%
2	Likforman-Sulem L. et al (2017) [142]	126 испытуемых	Данные цифрового планшета (ПО Ductus)	Эмоции (опросные методики DASS-42)	Машинное обучение (база EMOTNAW)	нет	Точность (SVM): Депрессия 72.8%, Тревожность 59.7%, Стресс 55%

3	Nolazco-Flores J. A. et al (2021) [161]	126 испытуемых	Данные цифрового планшета (ПО Ductus)	Эмоции (опросные методики DASS-42)	Машинное обучение (база EMOTNAW)	нет	Точность (SVM): Депрессия 80,31%, Тревожность 68.5%, Стресс 67.71%
4	Han, J. et al (2019) [120]	13 испытуемых, 19-40 лет, 8 женщин 5 мужчин.	Данные цифрового планшета (ПО Apple)	Эмоции (база видеоклипов EMDB) Arousal-valence Модель	Машинное обучение (использовали C-Support Vector Classification (SVC))	нет	Точность (KNN) – 51% в Arousal-Valence модели для независимой от пользователя модели и до 66% для зависимой от пользователя.
5	Ayzeren Y. B. et al (2019)[70]	134 испытуемых	Данные цифрового планшета (ПО Wacom)	Эмоции (Задавались видеоклипами) + стресс (задавался ограничением времени)	Машинное обучение (K-nearest neighbor (KNN) и Random forest) база данных Handwritten Database with Multi-Labels	нет	Точность обнаружения стресса: KNN – 75,19% и Random forest – 84,96%. Точность обнаружения счастья: KNN – 50,75% и Random forest – 52,24%.
6	Fairhurst M. et al (2015) [101]	100 испытуемых 55 мужчин 45 женщин	Данные цифрового планшета	Эмоции (задавались картинками) + стресс (задавался ограничением времени)	Машинное обучение (использовали KNN, SVM и Jrip)	нет	Точность (SVM): Счастье 80%, стресс 70%,

7	Yatbaz H. Y & Erbilek M (2020) [215]	134 испытуемых (из базы Аузерен Y. B. et al (2019))	Данные цифрового планшета, подписи (ПО Wacom)	Эмоции (Задавалось видеофрагментами) + стресс (задавался ограничением времени)	модели глубокого обучения ResNet, DenseNet и AlexNet	нет	Точность: ResNet – 55%, DenseNet – 68%, AlexNet – 77%
8	Ugurlu B. et al (2016) [195]	(Не указано) От 18 до 24 лет	Ручка и бумага. Сканы 24-битных изображений ВМР. Параметры являются наклоном строки, высота и ширина символа	Экзаменационный стресс (опросник STAI)	Машинное обучение (использовали J48 decision tree algorithm)	нет	Точность J48 decision tree algorithm в определении тревожности по STAI – 66%
9	Rahman, Halim (2023) [175]	129 человек (от 21 до 32 лет)	Данные цифрового планшета (ПО Wacom)	Эмоции (опросные методики DASS-42) из базы ЕМОТНАВ	Машинное обучение (Мел-частотный кепстральный коэффициент (MFCC), Двунаправленная долговременная и кратковременная память (BiLSTM))	нет	Точность: Депрессия – 89,1% Стресс – 75,17% Тревожность – 74,54%
10	Nolazco-Flores et al. (2022) [162]	129 человек (от 21 до 32 лет)	Данные цифрового планшета (ПО Wacom)	Эмоции (опросные методики DASS-42) из базы ЕМОТНАВ	Машинное обучение (Анализ главных компонент (PCA))	нет	Точность: Депрессия – 82,5%, Стресс – 74,56% Тревожность – 72,8%

11	Smejkal, V. et al (2016) [188]	24 испытуемых	Данные цифрового планшета, подписи (ПО Signotec)	Стресс (Курсы по выживанию)	Графологическая или исследовательская (Стандартная статистика)	нет	Стресс не влияет на стабильность подписи
12	Keinan G. & Eilat-Greenberg S (1993) [130]	56 испытуемых	1. Размер письма 2. Края письма 3. Беглость письма 4. Наклон письма 5. Нарушения письма (ошибки, зачеркивания и т.д)	Стресс (Прыжки с парашютом)	Графологическая или исследовательская (Стандартная статистика)	нет	Под влиянием стресса уменьшается размер почерка, увеличивается ширина полей, увеличение угла наклона письма, увеличение ошибок.
13	Сулавко А. Е. & Самогуга А. Е (2017) [53]	110 испытуемых	Данные цифрового планшета, подписи (ПО Wacom)	Возбуждение НС (Моделировали 5 состояний Возбуждение, Усталость, Алкогольное опьянение, расслабленное состояние, адекватное состояние)	Исследовательская	да (BCP)	Имеются значимые различия кинематических характеристик почерка под влиянием стресса. Скорость ввода подписи увеличилась, Давление кончика пера увеличивалось

14	Rispler C. et al (2019) [177]	62 испытуемых (55 женщин 7 мужчин) 21-29 лет	Данные цифрового планшета (ПО ComPET)	Настроение (Видеозаписи)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Штрихи при манипуляции с негативным настроением были короче по продолжительности и меньше по ширине и высоте
15	Luria G., et al (2014) [147]	98 испытуемых в возрасте 21-36 лет	Данные цифрового планшета (ПО ComPET)	Когнитивная нагрузка (ложь)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Под влиянием когнитивной нагрузки (ложь), почерк становится шире, а скорость письма снижается
16	Luria G., et al (2010) [148]	34 испытуемых 25 женщин и 9 мужчин в возрасте 20-35 лет	Данные цифрового планшета (ПО ComPET)	Когнитивная нагрузка (ложь)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Результаты показывают, что в условиях написания ложных высказываний среднее давление, длина и высота штриха были значительно выше.
17	Halder-Sinn P. et al (1998) [119]	16 испытуемых	36 переменных почерка.	Стресс (Экзаменационная обстановка)	Исследовательская (стандартная)	нет	Изменения кинематических характеристик письма

			Ручка и бумага		статистика)		при стрессе не отличимы от характеристик почерка, связанных с простым ускорением.
18	Жбанкова, О. В. и др (2011) [29]	102 испытуемых. 94 мужчины и 8 женщин в возрасте от 19 до 35 лет.	Ручка и бумага. 15 основных признаков почерка.	Стресс (ограничение по времени)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Изменение выработанности почерка, темпа движений, размер букв, интервалы между словами и ошибок.
19	Варава А. Н. (2018) [13]	53 человека	Эгоскоп	Аффективные расстройства по МКБ-10	Исследовательская (стандартная статистика)	да	Расстройство адаптации (РА) и депрессивные эпизоды выявляются с помощью пиктополиграфии и помогают в установлении диагноза
20	Aiken C. A., et al (2015) [62]	60 испытуемых	Данные цифрового планшета (ПО MovAlyzeR)	Стресс (когнитивный и физический)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Когнитивный стресс приводил к изменениям кинематических

							характеристик. Физический стресс не имеет значимых отличий
21	Van Gemmert, A. W., & Van Galen, G. P (1997) [206]	18 испытуемых от 18 до 25 лет.	Данные цифрового планшета (CaJcom p 2300) Измерял ось время реакции (ВР), время движения (ВД) и осевое давление пера + X-У координаты	Стресс когнитивный (арифметический счет) и физический (звук)	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Все параметры имели различия в зависимости от экспериментальных условий
22	Longstaff, M. G., & Heath, R. A (2000) [146]	14 испытуемых, 7 с рассеянным склерозом и 7 здоровых. 2 группы: с тремором и без тремора.	Данные цифрового планшета (WACOM 1212-R, ПО OASIS) осевое давление пера + X-У координаты (тангенциальная скорость)	Стресс физический (звук) условие без звука и со звуком 65 Дб	Исследовательская (стандартная статистика)	нет	Здоровые люди увеличивают осевое давление пера, которое они используют при письме в условиях легкого физического напряжения, в то время как люди с тремором сохраняют

							давление пера
23	Гусенкова А. А. & Захарова Л. Ю (2020) [18]	40 почерковых объектов	Ручка и бумага. таблицы - разработки общих и частных признаков почерка.	Стресс (Экзаменационная обстановка)	Почерковедческая	нет	Результаты влияния стресса: резкое снижение координации движений, увеличение размера интервала между словами, изменение формы и направления линии письма
24	Линевич В. Л (1998) [40]	86 испытуемых (мужчин) в возрасте 19-35 лет	Ручка и бумага. таблицы - разработки общих и частных признаков почерка.	Стресс (Экзаменационная обстановка)	Графология	нет	Имеются значимые изменения при стрессе таких показателей, как амплитуда, наклон, связность и разборчивость букв
25	Шкоропат Е. А. & Волкова С. В (2019) [59]	50 испытуемых	Ручка и бумага. таблицы - разработки общих и частных признаков почерка.	Стресс (Экзаменационная обстановка, после автоаварии, суицидальные записки)	Почерковедческая	нет	Изменение сложности движений при выполнении отдельных букв, протяженность движений, изменения относитель

							ьного размещени я движений.
--	--	--	--	--	--	--	--------------------------------------

*Под данными, получаемыми цифровым планшетом, понимается перечень стандартных кинематических характеристик (напр. X-У положение, давление пера и их производные).