

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГНЦ РФ-ИМБП РАН)

На правах рукописи

Лебедева Светлана Алексеевна

**ОЦЕНКА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ОПЕРАТОРА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧИ**

Специальность: 3.3.7 - Авиационная, космическая и морская медицина.

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель –
кандидат медицинских наук
Швед Дмитрий Михайлович

Москва - 2024 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1. Психофизиологическое состояние оператора и его оценка	12
1.1.1. Факторы, влияющие на психофизиологическое состояние оператора.....	12
1.1.2. Оптимальное функциональное состояние оператора и психофизиологическое утомление.....	14
1.1.3. Психофизиологическая напряжённость, стресс и совладание.....	19
1.1.4. Функциональное состояние и когнитивная работоспособность	25
1.2. Речь как комплексный показатель психофизиологического состояния говорящего	27
1.2.1. Структура речевого сигнала	27
1.2.2. Факторы, влияющие на характеристики речевого сигнала	30
1.2.2.1. Эмоциональные и психические состояния говорящего.....	34
1.2.2.2. Особенности речевого поведения в экстремальных условиях	36
1.2.2.3. Акустические характеристики речи и функциональное состояние говорящего	39
1.2.3. Исследование речи аппаратурными методами	42
1.2.3.1. Алгоритмы акустического анализа речи	44
1.2.3.2. Алгоритмы шумоподавления.....	48
1.3. Резюме	51
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
2.1. Объект исследования.....	54
2.2. Предмет исследования. Характер экспериментальных условий.	56
2.3. Методы исследования.....	66
2.3.1. Акустический анализ речи	66
2.3.2. Психологические методы изучения функционального состояния оператора.....	68
2.3.3. Когнитивное тестирование.....	70
2.3.4. Психофизиологические методики и физиологические показатели	71
2.3.5. Статистические методы.....	73

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	75
3.1. Акустический анализ речи в условиях интенсивных воздействий и помех.....	75
3.2. Влияние значимых периодов адаптации к экспериментальным условиям на акустические характеристики речи	78
3.2.1. Эксперименты с воздействием моделируемой невесомости.....	78
3.2.2. Эксперименты с воздействием изоляции	99
3.3. Оценка влияния индивидуальных и типологических особенностей обследуемых на адаптацию к экспериментальным воздействиям	104
3.4. Взаимосвязь акустических характеристик речи и показателей эмоциональной экспрессии в мимике	107
3.5. Взаимосвязь акустических характеристик речи и физиологических показателей ..	110
3.6. Взаимосвязь акустических характеристик речи и показателей когнитивной работоспособности.....	114
3.7. Выявление устойчивых паттернов акустических и когнитивных параметров с целью прогнозирования когнитивной работоспособности в различных условиях	130
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	152
ВЫВОДЫ	156
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	157
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ.....	159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Функциональное состояние оператора – это степень актуализации психофизиологических ресурсов индивида, требуемая для выполнения определённого поведенческого акта в конкретных условиях (Ильин, 1978; Леонова, 1984). Влияние рабочего стресса на функциональное состояние оператора принято описывать в контексте изменений в физиологических системах организма человека, на психическом и поведенческом уровне. Эти параметры доступны объективной регистрации при помощи физиологических проб, количественных показателей выполненной деятельности и психометрических методик (Ильин, 1978; Begum et al., 2013; Чепурных и др., 2015). Однако использование этих методов в большинстве случаев сопряжено с отвлечением оператора от своих непосредственных обязанностей, что в условиях повышенной напряжённости, свойственной, в частности, условиям космического полёта и других экстремальных видов деятельности, является нежелательным.

В последние годы всё больший интерес проявляется к оценке функционального состояния специалистов непосредственно во время трудового процесса – это диктуется, прежде всего, необходимостью определять и корректировать профессиональную надежность человека-оператора в экстремальных условиях (Cermack, 2006; Begum, 2013; Sparrow et al., 2019; Xia et al., 2022). Чаще всего такие задачи можно решать исключительно дистанционно.

В подобной ситуации для измерения психофизиологического состояния оператора используют неинвазивные, дистанционные, а в некоторых случаях и автоматизированные способы наблюдения и контроля за деятельностью. Среди методов, соответствующим указанным требованиям, особенно выделяется анализ речи человека-оператора во время рабочих переговоров – по сравнению передачей видеоизображения он не перегружает информационные каналы связи, он менее энергозатратен, чем многие психологические и физиологические методики, требующие времени на выполнение, и в полной мере отвечает таким критериям, как неинвазивность и дистанционность (Григорьев и др., 1997; Хроматиди, 2005; Чепурных и др., 2015; Baykaner et al., 2015; Slavich et al., 2019; Despotovic et al., 2022).

Речь человека, решающего рабочие задачи, может многое сказать о его эмоциональном, когнитивном и психофизиологическом состоянии, а также в целом о ситуации, в которую тот помещён (Галунов, 1978; Агарков и др., 2002; Картавенко, 2005; Van Puuyvelde et al., 2018). С этим связано большое количество исследований коммуникаций

операторов, работающих в экстремальных условиях на удалённых станциях, пилотов, космонавтов и т.д. (Kuroda et al., 1976; Ruiz et al., 1996; Grootjen et al., 2007; Gushin et al., 2016; Якимович, 2019; Bhattacharya et al., 2022)

Поскольку речь представляет из себя комплексное явление, различаются и методы её изучения. Речь представляется как семантическое, психолингвистическое и акустическое явление, и в зависимости от поставленных задач исследования специалисты используют контент-анализ (то есть анализ содержательной стороны высказывания) и анализ частотных характеристик речи (изучение акустических характеристик высказывания как его невербальной составляющей) (Морозов, 1998; Агарков и др., 2002; Картавенко, 2005; Воронцова и др., 2006; Богданова-Бегларян, 2016; Gushin et al., 2016). И если первый метод в большей степени позволяет определить факторы деятельности, опосредованные когнитивными и волевыми возможностями человека, то второй метод в большей степени соответствует эмоциональному и психофизиологическому состоянию человека, практически лишённому волевого компонента (Никонов, 1985; Мясников и др., 1997). Только вместе они могут предоставить полную картину эффективности деятельности и коммуникации, а также оптимальности функционального состояния человека.

Показано, что изменения частотно-акустических характеристик речи могут быть связаны с изменением эмоционального состояния оператора и колебаниями уровня активации – утомлением или возбуждением (Никонов, 1985; Потапова и др., 2008; Pohjalainen и et al., 2016; Huang et al., 2021). Однако существует большое количество не учитываемых факторов, влияющих на интонации и индивидуальные особенности речевого сигнала – и именно они могут помочь специалистам лучше понять и предсказать изменение функционального состояния оператора, чтобы оценить его способность выполнять текущую деятельность и предоставить индивидуальные рекомендации.

Степень разработанности темы исследования

Ранее изучение акустических характеристик речи успешно проводилось в ряде модельных и космических экспериментов (Johannes et al., 2008; Gushin et al., 2016; Гуцин и др., 2018; Kanas, 2023). Совершенствование технологической и методологической базы позволяет вывести данные исследования на новый уровень в рамках современного подхода, предполагающего в конечном итоге минимизацию субъективизма и инвазивности психофизиологических и психологических методик.

Развитием речевых технологий, а также фундаментальными и клиническими исследованиями речевых функций занимаются ведущие мировые научно-образовательные учреждения: Гарвардский университет, Массачусетский технологический институт,

Бостонский университет и проч. В России технологии автоматической обработки речи на данный момент разрабатываются, в частности, на профильных кафедрах МФТИ (с 2006 года) и ИТМО (с 2011 года).

В ГНЦ РФ – ИМБП РАН акустические характеристики речи изучались экспертным методом во время переговоров между экипажем и Центром управления в рамках проектов SFINCSS'99, «Марс-500» и в других изоляционных экспериментах (Гущин и др., 2018). В космических полётах на борту станций «Мир» и МКС в рамках эксперимента «Пилот-М» с помощью системы «Нейролаб-Б», помимо основных психофизиологических параметров, в рамках стресс-диагностики изучалась частота основного тона речи (Johannes et al, 2008). Непроизвольная речь исследовалась также в условиях 30-суточной гиподинамии в эксперименте «Аккорд», где изучалось влияние гиподинамии на амплитудно-временные и частотные структуры речевых сигналов (Никонов, 1985). Основной целью применения данных методик анализа речи при оценке психофизиологических аспектов взаимодействия оператора со сложной техникой, в том числе и аэрокосмической, является объективизация психологических и психофизиологических методов исследования. Ограничением проведённых исследований акустических составляющих речи можно считать вынужденный, произвольный характер речеобразования (например, анализировались голосовые ответы на предъявляемые стимулы) и небольшой набор изучаемых параметров. Это можно объяснить техническими ограничениями оборудования на момент проведения исследований: для сохранения чистоты эксперимента, помимо создания специфических средств и условий для выделения определенных показателей речевого сигнала и исключения шумов и помех (использование ларингофонов и др.), в качестве изучаемого материала требовалось использовать заранее подготовленных стандартных фраз и звуков, которые человек-оператор повторял через определенные промежутки времени (непроизвольная речь).

Таким образом, используемые методы являются достаточно ресурсоемкими и не подходят для исследования произвольной речи операторов в неадаптированных акустических условиях.

На сегодняшний день благодаря совершенствованию алгоритмов очистки аудиозаписей от постороннего шума и разработке современных программно-аппаратных комплексов, анализ устной речи может стать одним из наиболее прогрессивных способов оценки функционального состояния космонавтов непосредственно в ходе выполнения их профессиональной деятельности (Loizou et al., 2011; Likitha et al., 2017; Савченко, 2017).

Цель и задачи исследования

Цель исследования: Изучить связи между изменениями психофизиологического состояния человека-оператора и физическими параметрами его произвольной устной речи под воздействием моделируемых факторов космического полёта.

В рамках данной цели в диссертации решаются следующие **задачи**:

1. Определить релевантные теме исследования акустические характеристики речевого сигнала.
2. Разработать и апробировать методику оценки психофизиологического состояния человека-оператора с помощью анализа акустических характеристик произвольной речи.
3. Провести количественный анализ акустических характеристик речи, а также показателей когнитивной работоспособности, эмоционального и физиологического состояния человека-оператора, находящегося под воздействием моделируемых факторов космического полёта, включающих микрогравитацию, изоляцию и автономность, а также различные режимы угловых ускорений.
4. Провести анализ полученных данных с целью выявления устойчивых паттернов акустических показателей, отражающих психофизиологическое состояние человека-оператора.
5. Определить связи, имеющие прогностическую значимость для оценки когнитивной работоспособности в различных модельных условиях.

Гипотезы исследования

Перед началом исследования нами были выдвинуты следующие гипотезы:

1. Психофизиологическое состояние человека-оператора, находящегося под воздействием различных моделируемых факторов космического полета, проявляется в характеристиках его речевого сигнала, наиболее значимой из которых является ЧОТ.
2. По акустическим характеристикам речи оператора можно спрогнозировать его когнитивную работоспособность под воздействием моделируемых факторов космического полета.

Научная новизна

Впервые в строго контролируемых условиях наземных экспериментов изучалась произвольная речь человека-оператора (переговоры с ЦУП, ежедневные отчёты),

находящегося под воздействием ряда моделируемых факторов космического полёта: различных режимов угловых ускорений, повышенного шума, «микрогравитации», а также изоляции и автономности.

С помощью продолжительного (эксперименты длительностью в сутки, недели, месяцы) анализа акустических характеристик речи были выявлены периоды острой адаптации к различным условиям жизнедеятельности. Описана динамика изменения основных акустических показателей под влиянием моделируемых факторов и их связь с субъективно оцениваемым самочувствием обследуемых.

Проведено сопоставление различных акустических характеристик речи с сенсомоторными и когнитивными показателями, физиологическими показателями (ЧСС, АД), данными анализа эмоциональной экспрессии по мимике, полученными в ходе длительных экспериментальных воздействий. Впервые определены акустические паттерны, указывающие на функциональные состояния человека-оператора, определяющие его когнитивную работоспособность.

Теоретическая и практическая значимость работы

В качестве основного **научного результата** исследований впервые были установлены акустические паттерны, имеющие высокую прогностическую ценность для определения когнитивной работоспособности и уровня ситуативной тревожности: изменение частоты основного тона (средней и медианной ЧОТ), громкости, процента пауз в речи, количества голосовых импульсов, а также шиммера (вариабельности акустического сигнала по амплитуде) и джиттера (вариабельности акустического сигнала по частоте).

Практический результат работы заключается в разработке научного обоснования для создания автоматизированной экспертной системы, предназначенной для автономного мониторинга функционального состояния человека-оператора, оценки его готовности к стрессовым воздействиям, а также составления рекомендаций по психологической поддержке.

Методология и методы исследования

Методологическую основу диссертационной работы составили общенаучные методы эмпирического и теоретического познания: эксперимент, моделирование, анкетирование, анализ, синтез, обобщение.

Теоретической базой представленного исследования являются: теория о внутренних характеристиках деятельности (Рыжов Б.Н.), теория функциональных систем (Анохин П.К., Ухтомский А.А.), принципы системности и системного подхода в психологии (Ломов Б.Ф.),

концепция информационной модели (Панов Д.Ю., Зинченко В.П.), концепция профессиональной надежности (Пономаренко В.А.). Для решения задач диссертационной работы были использованы принципы модели операторской деятельности и традиционные подходы к организации экспериментальных исследований, принятые в авиационной, космической и морской медицине (Береговой и др., 1978).

В программу исследований включены дополнительные методики, валидность которых подтверждена в работах отечественных и иностранных исследователей и учёных: опросник настроения POMS, опросник совладания со стрессом COPE в адаптации Е.И. Рассказовой, тест Люшера (методика цветовых выборов) в модификации Л.Н. Собчик, тест Спилбергера (оценка уровня ситуативной тревожности), опросник Кейрси (методика оценки темперамента) (Park et al., 2011; Giddens et al., 2013; Kanas, 2023). В целях исследования эмоциональной экспрессии было использовано валидизированное ПО FaceReader, позволяющее анализировать мимику по параметрам 6 базовых эмоций, общей валентности эмоций и уровня возбуждения (Гусев и др., 2018) (данные предоставлены Савинкиной А.О.).

Помимо этого, в исследовании использовались количественные методы оценки когнитивной работоспособности, а также данные медицинского контроля (предоставлены Томиловской Е.С. и Ниязовым А.Р.).

Положения, выносимые на защиту

1. Акустические характеристики речи являются надёжным индикатором функционального состояния человека-оператора под воздействием моделируемых факторов космического полёта.
2. Изучение акустических показателей речи в динамике позволяет выявить начало и завершение острого периода адаптации к стрессовому воздействию моделируемых факторов космического полёта, а также определить последующие фазы адаптации.
3. Акустические паттерны, включающие изменения частоты основного тона (средней и медианной ЧОТ), громкости, процента пауз в речи, количества голосовых импульсов, а также шиммера (вариабельности акустического сигнала по амплитуде) и джиттера (вариабельность акустического сигнала по частоте), могут прогнозировать субъективно воспринимаемый уровень ситуативной тревожности у человека-оператора, а также его когнитивную работоспособность. Внутри акустических паттернов наиболее информативными для прогнозирования когнитивной работоспособности показателями являются ЧОТ, а также шиммер, джиттер и процент пауз в речи.
- 4.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается наличием четких критериев включения-исключения субъектов исследования, позволяющих сформировать репрезентативную выборку, достаточным количеством анализируемых данных, применением современных и традиционных методов исследования, соответствующих поставленной цели и решаемым задачам.

Диссертационная работа является частью многолетней комплексной программы экспериментальных исследований, дизайн и подбор методик которой были одобрены решением Секции «Авиационная, космическая и морская медицина» (14.03.08) на Учёном совете Института (протокол №12 от 19 декабря 2018 года).

Положения, выносимые на защиту, выводы и практические рекомендации подкреплены фактическими данными, представленными в виде таблиц и рисунков. Обработка, обобщение и статистический анализ полученных результатов проведены с помощью современных средств и методов анализа данных.

Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Симпозиуме «Человек в космосе» 2019 (22nd IAA Humans in Space Symposium), (ОАЭ, Дубай, 2019), Научно-практической конференции учёных России и Хорватии (Москва, 2019), XVIII Конференции молодых ученых, специалистов и студентов, посвящённая 50-летию высадки человека на Луну (Москва, 2019), 54-х Научных чтениях памяти К.Э. Циолковского (Калуга, 2019), Конференции с международным участием «Современные методические подходы к бесконтактной оценке функционального состояния работников» (Москва, 2020), VI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (Красноярск, 2020), IV Международной научно-практической конференция «Актуальные вопросы судебной психологической экспертизы и комплексной экспертизы с участием психолога. Современные компьютерные технологии в экспертной практике» (Калуга, 2020), XIV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (Звездный городок, 2021) и Симпозиуме «Человек в космосе» 2021 (23rd IAA Humans in Space Symposium) (Москва, 2021), Симпозиуме COSPAR 2022 44th Scientific Assembly (Афины, 2022), Международной научно-практической конференция «Психология без границ: интеграция науки и практики» (Москва, 2023), Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (Звездный городок, 2023).

По теме диссертации опубликованы 22 печатные работы: 10 статей в периодических изданиях, индексируемые аналитическими базами Scopus, WoS, RSCI и соответствующих

перечню ВАК, и 12 тезисов в сборниках докладов международных и всероссийских научных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 173 странице и состоит из 4 основных глав, введения, заключения, выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа иллюстрирована 37 рисунками и 21 таблицей. Список цитируемой литературы включает 182 источника, из них 79 на русском и 103 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Психофизиологическое состояние оператора и его оценка

1.1.1. Факторы, влияющие на психофизиологическое состояние оператора

Психофизиологическое состояние человека – это своеобразный ответ функциональных систем разных уровней на внешние и внутренние воздействия, возникающие при выполнении значимой деятельности (Ильин, 1978; Леонова, 1984).

Помимо персональной ответственности за результат работы, с которой оператор должен уметь успешно справляться, на него действуют разнообразные, подчас неблагоприятные условия рабочего окружения, в которых ему приходится находиться. Иногда приходится работать при повышенном и при пониженном атмосферном давлении, при высоких и низких температурах, в условиях кислородного голодания, в условиях длительной изоляции от привычной социальной среды и т.д.

Также, безусловно, на способность эффективно работать в условиях напряжённой деятельности влияют индивидуальные психологические особенности человека, его мотивация и психические возможности (Машин, 2011).

Таким образом, все факторы, воздействующие на психофизиологическое состояние оператора, можно разделить на следующие группы: условия труда и окружения, объём и напряжённость выполняемой работы и эмоционально-психологическое состояние человека (Леонова, 1984; McEwen et al., 1999; Смирнов и др., 2007; Фургелова, 2010; Щербатых, 2011; Koglbauer et al., 2021).

В первую очередь стоит обратить внимание на условия труда – ведь именно их специфика предопределяет возможность использования внутренних ресурсов для решения поставленных задач. Непривычные условия труда и окружения могут способствовать раннему развитию утомления и напрямую сказываться на состоянии здоровья человека вследствие необходимости активной и энергозатратной адаптации к новым условиям.

Факторы, влияющие на состояние человека, можно разделить на три основные группы:

1. Микроклимат (пониженное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе, повышенное содержание углекислого газа, отличающаяся от оптимальной температура и влажность, изменение барометрического давления, гипомагнитная среда и космическое излучение и т. п.);

2. Использование техники (действие механических сил, ведущих к вибрации, тряске, ускорениям; воздействие электромагнитных колебаний, шумов и ультразвука, изменение освещенности и цветоритмов, изменение состава воздуха – загрязнённость продуктами неполного сгорания топлива, и многое другое);
3. Нарушение режима труда и отдыха (аварии и экстренные работы по их устранению, нехватка времени на восстановление сил после значительного утомления, неэффективное использование перерывов между работой, нерациональное планирование рабочего графика) (McEwen et al., 1999).

В условиях космического полёта эти первые две группы факторов объединяются, так как микроклимат на станции является автономным и полностью зависит от бортовых систем. Однако космический полёт требует не только адаптации к экстремальным условиям жизнедеятельности, но и профессиональной надёжности человека-оператора в этих условиях.

На этом этапе мы подходим к понятию операционной напряжённости – параметру психофизиологического состояния оператора, на которое с одной стороны действует режим труда и отдыха, а с другой стороны – объём и трудность выполняемой работы. Сенсорная депривация или наоборот, большая информационная нагрузка, трудности различения сигналов, сложность зрительно-двигательной координации при пилотировании и управлении стыковочным аппаратом оцениваются вероятностью превышения этих нагрузок своего предельного значения, а также реакцией на это организма оператора (Наенко, 1969; Душков и др., 2005; Григорьева, 2006; Якимович, 2019). От умения человека успешно справляться с операционной напряжённостью напрямую зависит фактический результат деятельности.

В условиях космического полёта особое место при оценки операционной напряжённости занимает характер поступающего к оператору информационного потока. Оценивают коэффициент загруженности, период занятости, длину очереди, время пребывания информации на обработке, скорость поступления информации (Фургелова, 2010). Появление напряжённости может быть вызвано и наличием очереди в обработке информации – такое происходит, когда новая информация поступает до окончания обработки ранее поступившей. На деятельность оператора влияет и длина очереди. Если её значение превышает объём оперативной памяти, то возможны случаи пропуска сигналов оператором. На деятельность оператора также оказывает влияние скорость поступления

информации – эта скорость не должна превышать пропускной способности оператора (Фургелова, 2010; Чепурных и др., 2015).

Однако напряжённость в работе оператора может быть не только следствием операционной напряжённости, связанной со сложностью выполняемой работы, но также и во многом – с напряжённостью эмоциональной, результатом действия отрицательных эмоциональных раздражителей, связанных с неэффективностью межличностной коммуникации, падением уровня мотивации и прочими психологическими издержками. В критической ситуации именно от них будет зависеть успешность выполнения оператором вверенных ему задач (Юсупова и др, 2011; Щербатых, 2011).

Таким образом, напряжённость труда характеризуется объёмом воспринимаемой информации и определяется степенью напряжения внимания, плотностью поступающих сигналов, состоянием анализаторных систем, а также эмоциональным напряжением и длительностью воздействующих на оператора неблагоприятных условий окружения – всё это находит своё отражение в функциональном состоянии оператора.

При длительном воздействии неблагоприятных факторов психофизиологическая напряжённость перестаёт служить цели активации организма и переводит его в состояние утомления и вынужденного снижения эффективности деятельности.

1.1.2. Оптимальное функциональное состояние оператора и психофизиологическое утомление

В предыдущей главе мы определили основные факторы, влияющие на функциональное состояние, и заключили, что на него влияют как характеристики окружающей среды и непосредственно исполняемая работа, так и внутриличностные, психологические факторы. И сейчас мы подходим к рассмотрению психофизиологического ответа организма на обстоятельства, в которых вынужден находится субъект.

Изменение психофизиологического, а значит и функционального состояния, может происходить на разных уровнях. Начать стоит с наиболее общих, протяжённых во времени состояний организма – по признаку соответствия работы функциональных систем изменившимся или неблагоприятным условиям труда различают состояния адаптированности, стресса и дистресса.

Состояние адаптированности предполагает, что перед человеком ставится достаточно сложная задача, но у него также есть ресурсы для её решения. Это состояние

описывается А.Б. Смирновым через термин «психического напряжения» – соответствия благоприятным условиям труда, когда цель деятельности достигается при допустимых нервно-психических затратах. При нормальном уровне адаптации изменение функционального состояния оператора принято рассматривать в контексте динамики работоспособности и утомления (Смирнов и др., 2007).

Работоспособность человека-оператора оценивается через эффективность и производительность труда, которые, как было замечено, колеблются в течение рабочего дня в сторону повышения и понижения. Например, в начале смены отмечается период вработывания, который длится около полутора-двух часов – в это время отмечается повышение концентрации внимания, установление рабочего ритма деятельности. Затем настаёт период высокой работоспособности, в котором работник выдаёт свой производственный максимум. Однако перед обеденным перерывом или другими перерывами, а также к концу рабочего дня работоспособность и производительность труда снижаются из-за утомления и ожидания отдыха (Григорьева, 2006). Если после перерыва есть необходимость снова включаться в работу, то цикл с вработываемостью повторяется. Таким образом, на протяжении рабочей последовательно, зачастую по несколько раз, развиваются три характерных процесса: 1) вработывание; 2) поддержание высокого уровня работоспособности; 3) утомление.

Психофизиологический механизм вработываемости и утомления связан с противоположными процессами. Так, если во время вработывания происходит формирование и уточнение рабочих динамических стереотипов и соответствующие изменения в протекании основных функций различных систем, то в период утомления наблюдается рассогласование динамических стереотипов и изменение протекания элементарных физиологических функций (Григорьева, 2006; Sparrow et al., 2019). Изменения в работоспособности также отражаются на эффективности и производительности труда: во время вработывания она повышается, а во время утомления, соответственно, снижается.

В.И. Барабаш и В.С. Шкрабак дают такое определение: «Утомление – это общий физиологический процесс, которым сопровождаются все виды активной деятельности человека. Степень утомления пропорциональна интенсивности психической и физической нагрузки. На возникновение утомления влияют заинтересованность человека в работе, его функциональное состояние, физическое развитие, тренированность, опыт работы и т.п.» (Барабаш и др., 1996). При этом утомление классифицируют по месту локализации (мышечное и сенсорное), специфике (физическое и психическое), виду нагрузки и времени,

необходимому для восстановления исходного уровня работоспособности (острое и хроническое утомление) и др.

Во время работы, которая не предполагает активной адаптации к быстро меняющимся условиям, монотонность и психическое пресыщение являются заметными факторами утомления. Если утомление можно охарактеризовать как естественную реакцию, связанную с нарастанием напряжения при продолжительной работе, то и монотония, и психическое пресыщение являются результатом однообразной деятельности в определенных условиях (например, ограниченное и бедное на стимулы пространство жизнедеятельности, рутинные, не вызывающие интерес действия и т.д.). Монотонность приводит к погружению человека в состояние дремоты и отключению от процесса работы. Состояние психического пресыщения связано с развитием комплекса бурных эмоциональных переживаний с целью разнообразить привычные стереотипные действия. Увеличение утомления сопровождается появлением специфических "ошибок невнимательности", снижением точности и скорости выполнения задач, а также признаками истощения резервов организма (Sparrow et al., 2019). Состояние монотонии характеризуется общим снижением активности процессов, обеспечивающих деятельность. Состояния утомления, напротив, характеризуются рассогласованием этих процессов в ходе увеличения рабочего напряжения, что проявляется в расхождении между отдельными показателями (Барабаш и др., 1996).

При развитии утомления наблюдаются значительные изменения в динамике различных психических функций. Одним из явных признаков утомления является заметное снижение чувствительности в различных сенсорных модальностях, а также увеличение её инертности. Проведённые исследования демонстрируют увеличение порогов чувствительности, увеличение продолжительности и яркости последовательных образов и при этом снижение пороговой частоты слияния мельканий. В случае психического истощения зачастую обнаруживается замедление реакции, то есть снижение скорости при выполнении простой сенсомоторной реакции и выбора. Однако иногда можно отметить и противоположную тенденцию: ускорение реакции, которая также приводит к большему числу ошибочных ответов. Картину психического утомления дополняет нарастающее рассогласование отдельных моторных стереотипов, которые в свою очередь нарушают привычные двигательные навыки и в целом координацию движений (Леонова, 1984).

С точки зрения высших психических функций (ВПФ), наиболее заметными признаками утомления являются нарушения функций внимания и памяти. Когнитивные тесты показывают сужение объёма внимания, проблемы с переключением и

распределением внимания и функциями его контроля. Неспособность сконцентрироваться на выполнении задач также находит своё отражение в процессах запоминания, сохранения и воспроизведения информации, что особенно может проявляться в затруднениях при извлечении информации из долговременной памяти. Ухудшение характеристик краткосрочного запоминания объясняется трудностями в удержании информации в системе кратковременной памяти и затруднении семантического кодирования запоминаемого материала. Не смотря на наличие обстоятельств, предполагающих использование новых подходов к решению задач, в целях повышения энергоэффективности процесса мышления в психике начинают преобладать зачастую неэффективные стереотипы. В ситуации утомления исследователи отмечают у обследуемых нарушение или снижение сознательного контроля и целенаправленности деятельности, что можно интерпретировать как нарушения волевого компонента и мотивации (Baykaner et al., 2015; Sparrow et al., 2019).

Существует множество методов оценки психического утомления – среди них можно выделить корректурную пробу (тест Бурдона), чёрно-красную таблицу Шульте, счёт по Крепелину и т.д. В основном эти психометрические тесты базируются на оценке эффективности психических функций при решении коротких задач – анализируется динамика показателей количества, качества и скорости выполнения задания, а также лежащее в её основе состояние высших психических функций (внимания, восприятия, памяти, мышления) и изменения сенсомоторных показателей. В связи с этим к психометрическим методам также следует отнести тесты, определяющие абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности в различных сенсорных системах – теппинг-тест Ильина, определение критической частоты слияния мельканий (КЧСМ) и др. (Береговой и др., 1978).

Помимо этого, распространены методы субъективной оценки респондентов своего состояния – этим целям служат анкеты и опросники, дневниковые записи. Они позволяют в более длительной перспективе оценить функциональное состояние оператора, отследить возникновение следов усталости, когда человеку не удаётся восстановить свои силы перед началом нового рабочего дня. Помимо этого, они также могут предоставить информацию о психологическом климате в коллективе и эмоциональных затруднениях респондента, однако подобная информация в связи со своей субъективностью оказывается сильно привязанной к мотивационной сфере оператора, а потому не всегда может отражать реальное положение дел (Юсупова и др., 2011).

Так как организм представляет из себя целостную систему, психологическое напряжение отображается на физиологическом состоянии. Физиологическое развитие

утомления свидетельствует о том, что организм истощает свои внутренние резервы и переходит на менее эффективные способы функционирования. Например, для поддержания нормального кровотока, вместо увеличения объема крови, которая выбрасывается за одно сокращение сердца, организм увеличивает частоту сердечных сокращений. Также, двигательные реакции реализуются с большим числом мышечных единиц, но с ослабленной силой сокращения отдельных мышечных волокон (Григорьева, 2006; Машин, 2011). Все это приводит к нарушениям устойчивости вегетативных функций, снижению силы и скорости мышечного сокращения, нарушении согласованности работы регуляторных систем, затруднениях в формировании и подавлении условных рефлексов. Таким образом темп работы замедляется и прерывается, нарушаются точность, ритмичность и координация движений.

Для оценки динамики функциональных состояний используются показатели работы центральной нервной системы и вегетативные сдвиги. Например, такие методы, как электроэнцефалограмма (ЭЭГ), электромиограмма (ЭМГ), кожно-гальваническая реакция (КГР) и пульсометрия (оценка частоты сердечных сокращений), позволяют оценить электрофизиологические показатели организма. Кроме того, исследуются и биохимические сдвиги в организме при различных функциональных состояниях. Помимо клинического анализа крови и мочи, в настоящее время широко применяются лабораторные клинко-биохимические методы определения различных биохимических показателей в плазме крови: энергетических субстратов (АТФ, КрФ, глюкозы и др.), ферментов энергетического обмена (АТФ-азы, КрФ-киназы, цитохромоксидазы, лактатдегидрогеназы и др.), промежуточных и конечных продуктов обмена углеводов, липидов и белков, показателей кислотно-основного состояния крови, регуляторов обмена веществ (ферментов, гормонов, активаторов и ингибиторов), минеральных веществ, белка и его фракций в плазме крови. Помимо этих методов клинического исследования, активно разрабатываются полиэффекторные методы регистрации изменений функционального состояния человека (Данилова, 1992).

В целом, все изменения, происходящие в функциональном состоянии оператора по мере изменения влияния на него рабочей нагрузки, можно разделить на следующие взаимосвязанные между собой параметры:

1. поведенческие (особенность двигательных паттернов: поза, мимика и пантомимика), в том числе речь как деятельность (содержательная и интонационная составляющая высказываний и др.);

2. коммуникативно-поведенческие (стиль и характер общения в контексте взаимоотношений с другими людьми);
3. вегетативные (реакции сердечно-сосудистой, дыхательной, пищеварительной систем и др.);
4. биохимические (изменение параметров ферментных и эндокринных реакций, общего обмена веществ).
5. а также субъективные показатели - переживания, чувства, эмоции (Данилова, 1992; Душков и др., 2005).

В зависимости от возможностей исследования выбираются те методы, которые наименьшим образом влияют на успешность выполнения оператором своей деятельности.

Как было сказано выше, в напряжённых, но не превосходящих адаптационный потенциал человека условиях зачастую остаётся возможность обеспечивать оптимальный режим труда и отдыха. Это значит, что следом за утомлением оператора должно наступать время, когда он может восстановить силы и снова войти в цикл вработывания и поддержания высокого уровня работоспособности, без следовых последствий утомления.

Однако в экстремальных условиях работы режим труда и отдыха бывает нестабильным, и у оператора может не быть возможности восстановить силы после наступления выраженного утомления. Тогда эффективность деятельности начинает зависеть от мотивационного компонента личности оператора – соотнесения результатов работы с его ценностной системой. Именно об этом пойдёт речь в следующей главе, посвящённой стрессу и совладанию с ним.

1.1.3. Психофизиологическая напряжённость, стресс и совладание

Противоположность монотонии и психического пресыщения, ведущих к психофизиологическому утомлению в норме, - повышенная возбуждённость в критической ситуации. Н.И. Наенко и О.В. Овчинникова указывают, что чрезмерные формы психического напряжения возникают у человека при попадании в трудные, экстремальные условия, при умственной и эмоциональной перегрузках, вызванной необходимостью быстрого принятия решения, дефицитом времени, повышенной ответственностью за выполняемую работу, опасностью и т.п. (Наенко и др., 1969). Такие чрезмерные формы психического напряжения обозначаются как запредельные.

Повышенная психофизиологическая напряжённость, описываемая как стресс – это состояние, определяющееся через временное снижение стабильности высших психических функций (мышления, внимания, памяти, мотивации и др.), рассогласованность привычных паттернов движения и снижение общей работоспособности (Фургелова, 2010). Стресс является неблагоприятным состоянием, особенно для человека-оператора.

Л.А. Китаев-Смык (2009) при анализе функционального состояния человека-оператора выделяет четыре субсиндрома стресса: когнитивный, эмоционально-поведенческий, социально-психологический и вегетативный. Когнитивный субсиндром проявляется в изменении мышления человека, способности к обработке и анализу поступающей информации. Эмоциональный субсиндром – в аффективных и эмоционально-чувственных реакциях в условиях критической ситуации. Социально-психологический субсиндром отмечается во взаимодействии человека с окружающими его людьми, также оказавшимися в экстремальных условиях: иногда это взаимодействие выражается в отрицательных тенденциях (изоляция, конфликтность и др.), а иногда – в позитивных (сплочённость, организованность, взаимопомощь). И, наконец, вегетативный субсиндром выражается в локальных или тотальных физиологических стрессовых реакциях, изначально рассчитанных на адаптацию, но при несоизмеримой нагрузке на организм способных приводить к хроническим «болезням стресса».

Любая ответственная и опасная ситуация является стрессогенной, а значит неизбежно вызывает психофизиологическое напряжение. При наличии ресурсов стресс оказывает активизирующее влияние: поведение человека становится более организованным и собранным, повышается бдительность и концентрация внимания, улучшаются характеристики когнитивной работоспособности, повышается физическая работоспособность и т.д. Запускается каскад сложных вегетативно-соматических и биохимических изменения функционирования: запускается соответствующая нейрогуморальная регуляция, улучшаются показатели сердечно-сосудистой деятельности, внешнего дыхания и т.п. (Фургелова, 2010; Машин, 2011).

Функционально это выражается в увеличении адаптивности и успешном преодолении стресса, вызванного операционной напряжённостью:

- Повышается «долгосрочная» выносливость (способность длительно выдерживать монотонную работу, не подверженность быстрому утомлению);

- Увеличивается экстренная выносливость к острому психофизиологическому стрессу (например, в аварийной ситуации, при нехватке временных и физических ресурсов и др.);
- Развивается устойчивость к помехам (повышается способность сосредоточиться на задаче);
- Улучшается устойчивость к внутренним (психическим) отвлекающим факторам, уменьшается спонтанная отвлекаемость, особенно в состоянии длительного наблюдения за приборами;
- Реакция на неожиданные раздражители становится более эффективной (в случае неожиданно возникшего сигнала можно наблюдать период «психической рефракторности», во время которого внимание фокусируется на источнике стимула, не замечая другие раздражители);
- Повышается переключаемость внимания (способность быстро переключаться между задачами повышается – уменьшается период вхождения в деятельность при смене задач);
- Развивается устойчивость к воздействию внешних факторов (шуму, вибрации, ускорениям, температуре, давлению, влажности и т.п.) (Фургелова, 2010).

Однако эмоциональное напряжение, превышающее определенный уровень, может негативно повлиять на производительность и даже привести к утрате работоспособности. Психическое напряжение имеет физиологический предел, за которым его положительное воздействие меняется на негативное. Длительное возбуждение истощает организм, и происходит дезинтеграция деятельности (Смирнов и др., 2007; Щербатых, 2011).

В то же время если эмоциональная напряжённость не превышает допустимый уровень, то успешная адаптация к экстремальным условиям труда соответствует фазе вработываемости и поддержания высокого уровня производительности.

Однако, при длительном воздействии стрессора и невозможности понижения предельного уровня напряжённости, следом за фазой адаптации неизбежно наступает истощение, при высоком уровне мотивации человека делящееся на ещё несколько стадий:

1. Фаза субкомпенсации – необходимый уровень работы систем поддерживается за счёт ослабления менее важных функций, происходит скрытое снижение эффективности деятельности; с началом этой фазы развивается состояние утомления.
2. Фаза декомпенсации – ухудшение функционирования систем, снижение наиболее важных показателей деятельности; характеризуется выраженными вегетативными

нарушениями (тахикардия, учащение дыхания, нарушение точности и координации движений, большое количество ошибок в работе, ухудшение внимания, памяти, интеллектуальных функций).

3. Фаза срыва – резкое падение работоспособности, неадекватность реакций организма вплоть до невозможности продолжать работу.
4. Фаза «конечного порыва» - перед окончанием работы резкое повышение работоспособности за счёт мотивации и мобилизации дополнительных ресурсов.

Эти примеры успешного совладания оператора с экстремальной ситуацией, и менее эффективного, однако всё же поддержания активности, могут быть описаны через теорию Б.Н. Рыжова о внутренних характеристиках деятельности. В этой теории состояние функциональных систем описывается через функциональный резерв, который, будучи одной из внутренних характеристик деятельности, является одновременно таким же объективным результатом труда, как и его продуктивные показатели (Рыжов, 1999).

Задействованность ресурсов функционального резерва для продуктивности работы называется психофизиологической ценой деятельности. Психофизиологическая цена деятельности представляет собой напряжённость, которую испытывает организм человека при выполнении разного рода деятельности – она оценивается через показатели функционального состояния систем организма и выражается в трудоспособности оператора. Она, вместе с «работогоотовностью» (мотивацией) и «работоспособностью» (когнитивными навыками и умениями, необходимыми для работы), служит оценке изменяющегося во времени параметра эффективности деятельности (Рыжов, 2001).

Таким образом, Б.Н. Рыжов предлагает оценивать эффективность деятельности по этим трём параметрам: психофизиологической цене, мотивации и профессиональным навыкам оператора. И если последний показатель оценивается при профессиональном отборе специалиста и в дальнейшем совершенствуется в ходе его профессиональной деятельности, то первые два более динамично меняются во времени и в связи с этим являются предметом настоящего исследования.

Психофизиологическая цена описывается изменением параметров функционального состояния, и в предыдущей главе мы рассмотрели методы их измерения.

Мотивационный же компонент личности в ситуации повышенной напряжённости служит пониманию детерминации деятельности для раскрытия структуры личности

оператора, что во многом может помочь предсказанию соответствующего поведения в критической ситуации. М.Ш. Магомед-Эминов определяет, что мотивация личности в экстремальной ситуации представляет собой динамическую систему, структура которой включает в себя три базисные мотивационные тенденции: мотивацию отрицания, мотивацию самосохранения, мотивацию роста (Магомед-Эминов, 2006).

Мотивационные тенденции напрямую влияют на процесс и результат деятельности, и в связи с этим о мотивационной направленности человека можно напрямую судить по его поведению в критических ситуациях. Чрезмерная напряжённость описывается не только через эмоциональный стресс и изменение психофизиологических показателей, но и через поведение человека. И лучше всего такое поведение описывается через понятие стресс-совладающего поведения, или копинг-поведения.

Понятие адаптации как совладания со стрессом стало изучаться в психологических подходах и направлениях, до этого пройдя большой путь развития и становления в таких областях науки как биология, физиология и медицина (Рассказова и др., 2013).

В психологии одной из самых значительных теорий стала разработанная Ричардом Лазарусом когнитивная теория стресса, говорящая о стрессе как об индивидуальной реакции человека, определяемой его субъективной оценкой угрозы (стрессового фактора) и его ресурсов для преодоления данной угрозы (Дементий, 2004). В этой теории система мотивов и ценностей определяет то, что для конкретного индивидуума будет угрозой, а что нет. Следом за этой теорией появляется классификация способов совладания со стрессом, то есть поведения, основанного на ценностной системе человека, – Р. Лазарус и С. Фолкман предлагают восемь копинг-стратегий, объединённых в два основных вида: «проблемно-ориентированный копинг (problem-focused)» и «эмоционально-ориентированный копинг (emotional-focused)»:

- "планирование" – рационализация собственного поведения, стремление к продумыванию дальнейших шагов на пути решения задачи;
- "конфронтация" – агрессивное или пассивно-агрессивное поведение, направленное на участников коммуникации, указывающее на внутреннее сопротивление возникшей проблеме;
- "принятие ответственности" – взвешенная позиция, при которой человек принимает ответственность за свои действия, поступки и их последствия, и сообщает про это участникам коммуникации;

- "самоконтроль" – поведение, при котором во время решения трудной задачи человек направляет свои психоэмоциональные ресурсы на регуляцию собственного состояния и волевой самоконтроль;
- "положительная переоценка" – целенаправленный поиск положительных моментов в сложившейся трудной ситуации, оптимистическое восприятие возникающих проблем;
- "поиск социальной поддержки" – обращение к другим людям за поддержкой и помощью, использование социальных ресурсов;
- "дистанцирование" – отстранение от возникшей трудной ситуации, эмоциональное абстрагирование от происходящего;
- "бегство-избегание" – сознательное избегание или откладывание решения проблемы (Дементий, 2004).

Важно заметить, что данная классификация, по мнению Р. Лазаруса и С. Фолкман, не определяет общий стиль поведения человека и тем более не даёт положительной или негативной оценке тем или иным способам совладания. Наоборот, их теория показывает, что каждый человек, в зависимости от ситуации и реакции на неё, прибегает к комплексному подходу в решении проблемы, используя при этом как проблемно-ориентированные, так и эмоционально-ориентированные способы совладания. Таким образом, по Лазарусу, копинг-стратегия позволяет индивиду при помощи актуальных когнитивных, эмоциональных и поведенческих ответов успешно совладать с определённой стрессовой ситуацией.

Для диагностики мотивов поведения и копинг-стратегий обычно используют психологические опросники, а также непосредственное наблюдение за деятельностью человека в проблемной ситуации – существует ограниченное количество методов, позволяющее делать это дистанционно: аудио- и видеозаписи, анализ результатов коммуникации или труда.

Однако, в случае качественной и количественной оценки и контроля психофизиологического состояния человека, чаще всего используются программные и аппаратные средства, чаще всего применяющиеся в условиях расширенной клинической диагностики. Это делает оценку и диагностику в условиях работы "на месте" в реальном времени довольно нетривиальной задачей (Grootjen et al., 2007). Многие специалисты, за которыми в первую очередь требуется медицинский контроль (водители, пилоты, космонавты, члены спасательных бригад МЧС и т.п.) действуют в отрыве от стационарного

рабочего места, перемещаются на большие расстояния, подвергаются воздействию большого количества неблагоприятных факторов. Все это затрудняет использование существующих сложных и дорогих аппаратно-приборных комплексов изучения психофизиологического состояния человека-оператора в производственных условиях (Варфоломеев и др., 1998).

В такой ситуации исследование речи – один из лучших неинвазивных дистанционных способов выявить изменение психофизиологического состояния оператора – с помощью него психофизиологическая цена деятельности и применяющиеся копинг-стратегии могут быть оценены бесконтактно. Множество исследований показывают потенциал применения аппаратного метода для анализа речи с целью распознавания особенностей функционального и психофизиологического состояния (Никонов, 1985; Картавенко, 2005; Хроматиди, 2005; Адашинская, 2007; Фролов, 2009; Юсупова и др., 2011; Baykaner et al., 2015) и эмоций (Носенко, 1975; Морозов, 1988; Морозов, 2001; Филатова и др., 2012).

С методами исследования речи мы познакомимся в следующих главах.

1.1.4. Функциональное состояние и когнитивная работоспособность

Функциональное состояние человека включает в себя физическое, психическое и социальное состояние. Существует большой набор физиологических реакций организма, в которых отражаются изменения функционального состояния человека: частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), частота и глубина дыхания, скоростные характеристики двигательных реакций, изменения в ЭЭГ и т. д. сторонники физиологического подхода предлагают оценивать функциональное состояние по комплексу взаимосвязанных физиологических реакций, а изменения функционального состояния рассматривать как смену одного паттерна реакций другим (Данилова, 1992).

Функциональное состояние человека может влиять на работоспособность его когнитивных функций. Например, усталость, стресс, депрессия, болезни или другие факторы могут снижать работоспособность человека и ухудшать его когнитивные способности. Однако эта закономерность работает и в обратную сторону – ситуация длительного психического (в том числе, когнитивного) напряжения может истощать ресурсы организма.

В отличие от определения «психофизиологического напряжения» человека-оператора, в настоящий момент в мире отсутствует общепринятый способ описания «психического напряжения» в контексте работоспособности. Ряд зарубежных авторов рассматривает психическое напряжение (спектр состояний в процессе деятельности) как некоторую «цену деятельности», которую человек-оператор платит за выполнение задачи (effort costs, physiological and psychological costs) (Машин, 2011). В этом случае для понимания уровня психического напряжения предлагается предварительно изучить индивидуальные способности человека и характеристики психической нагрузки в ходе работы (Eggemeier, 1988; Sanders et al., 1993; Prinzel et al., 2003). К способностям индивида также добавляют цели и мотивацию, способности и компетентность, копинг-стратегии по отношению к трудностям, психоэмоциональное и функциональное состояние и др. (Rouse et al., 1993; De Waard, 1996; Collet et al., 2003). Если в стандартных условиях выполнения работы условия не меняются, то психофизиологическое состояние человека-оператора зачастую подвержено большей динамике. Тем не менее, следуя представленной формуле, можно регулировать психическое напряжение путём изменения предложенных оператору заданий, и их последовательности, а также оптимизацией режима труда и отдыха.

Время после выполнения работы человеком может рассматриваться как период реабилитации его функционального состояния, необходимого для реализации следующих задач. Если полного восполнения потраченного ресурса не происходит, то у человека возникают негативные состояния, такие как хроническое напряжение и усталость, которые впоследствии могут наблюдаться у человека даже в состоянии покоя (Машин, 2011). Эти состояния можно объяснить через концепцию аллостатической нагрузки (allostatic load) (McEwen et al., 1999). Она помогает объяснить, почему уже после окончания психической нагрузки у человека регистрируются состояния, характерные для рабочего состояния в процессе его профессиональной деятельности. При оперативном контроле негативных функциональных состояний человека-оператора у специалистов появляется возможность влиять на долгосрочную эффективность его умственной и физической работоспособности.

Отмечается, что при высоком уровне компетенции и развитых когнитивных функциях человека резкое снижение производительности и работоспособности возможно только в состоянии сверхвысоких умственных нагрузок и эмоционального перенапряжения. В данном случае отклонение от оптимума мотивации может помешать выполнению деятельности, что многократно было показано в исследованиях на спортсменах (Сопов, 2010). Тем не менее, высокий уровень личностных качеств индивида с подобными затруднениями позволяет работать над оптимизацией уровня притязаний.

Однако отсутствие состояний психоэмоционального напряжения во время выполнения ответственной работы также может приводить к низкой эффективности работы. В этом случае стоит говорить не о недостаточной мотивированности или низкой психологической устойчивости индивида, а о недостаточном уровне функционирования его высших психических функций: восприятия, внимания, памяти, мышления. Во время психодиагностики когнитивных процессов такие личности не будут испытывать перевозбуждения или перенапряжения – так как изначально не обладают высоким уровнем притязаний. Такие люди чаще всего отсеиваются на этапе профессионального отбора вследствие недостаточно развитого когнитивного компонента деятельности.

1.2. Речь как комплексный показатель психофизиологического состояния говорящего

1.2.1. Структура речевого сигнала

Характеристики речевого сигнала можно рассматривать как одни из самых перспективных показателей для оценки психофизиологического состояния человека. Изменения, вызываемые наличием у человека различных психоэмоциональных и функциональных состояний, касаются всех уровней процесса речеобразования: смыслового, лексического, фонемного, синтаксического, и, наконец, акустического (Носенко, 1975; Никонов, 1985).

Основная масса исследований, изучающих проблему паралингвистических аспектов речи, сосредоточена на ритмике высказывания, связанной с лингвистическими особенностями языка, а также психологических и эмоциональных состояниях говорящего, которые можно определить через характеристики акустического сигнала.

Изучение речевых сигналов проводились многими отечественными исследователями и организациями. Наибольший вклад в теорию внесли Фант Г., Витт Н.В., Вилюнас В.К., Галунов В.И., Никонов А.В., Картавенко М.В., Носенко Э.Л., Сорокин В.Н., Симонов П.В., и др. Экспериментальные исследования были выполнены Фроловым М.В., Сорокой А.М., Таубкиным В.Л., Морозовым В.П., Тиуновым С.Д., Хроматиди А.Ф., Перервенко Ю.С. и многими другими.

Для того, чтобы иметь возможность объективно оценивать интонационные особенности речевого высказывания, необходимо обратить внимание на их физическую

сторону – ту, которая позволяет производить оценку речи техническими методами (см. Рис. 1, Елисеева, 2009).

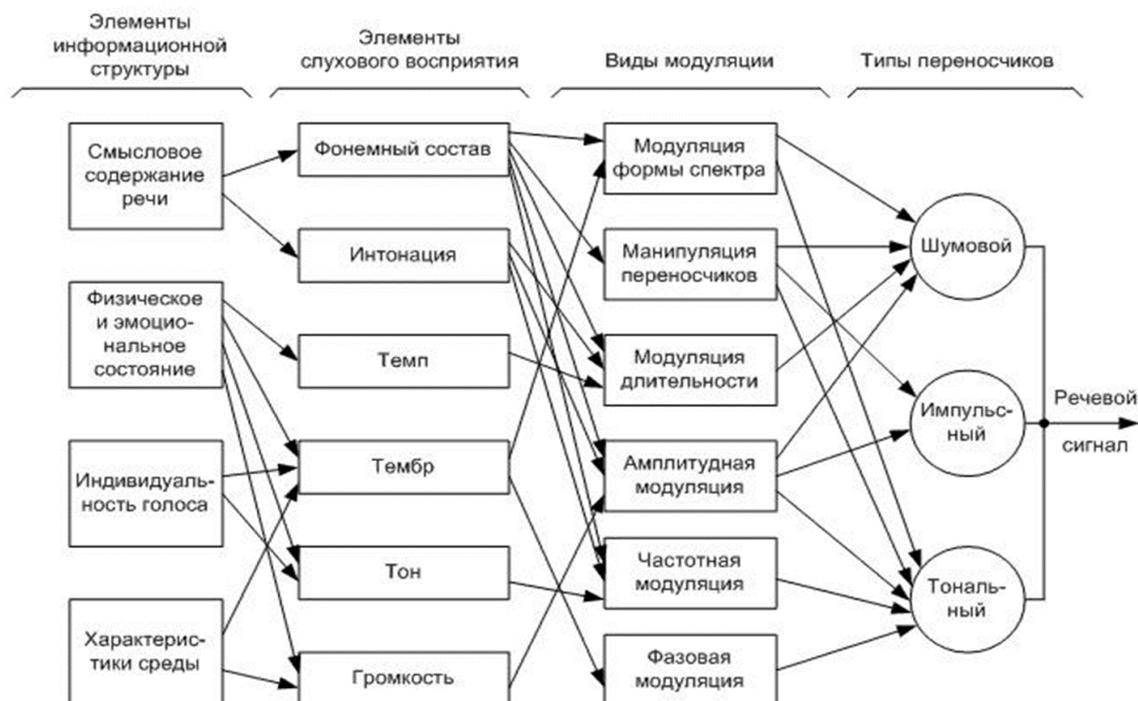


Рис. 1. Составляющие и характеристики речевого сигнала (Елисеева, 2009).

Речевое общение начинается с того, что у человека появляется потребность в передаче информации: в сознании возникает в абстрактной форме некое сообщение, которое необходимо передать другому человеку. В процессе речеобразования эта информация преобразуется в акустическое речевое колебание, специфика которого зависит от многих биофизических, психофизиологических и эмоциональных состояний человека (Zhou et al., 2001; Sondhi et al., 2015; Huang et al., 2021).

Самые неизменные показатели относятся в первую очередь к биофизической основе акустического сигнала. Так, за особенность самой стойкого акустического признака – частоты основанного тона речи – отвечает длина и массивность голосовых связок. Этот феномен определяет различия в высоте голоса между людьми: те, у кого более крупная гортань, обычно имеют более низкие голоса по сравнению с теми, у кого гортань и голосовые связки меньше и тоньше. Как правило более крупные люди обладают более низким голосом, этим же объясняется и разница в звучании мужских и женских голосов.

Эти закономерности отражены в высоких коэффициентах корреляции между высотой голоса человека и его или её полом, возрастом и весом (Морозов, 1998).

Далее, биофизические аспекты речевого сигнала варьируются в зависимости от состояния человека – функционального и эмоционального. В целом, набор этих признаков обозначается как невербальные характеристики речи. К информации, передаваемой с помощью различных видов невербальных характеристик, относят:

а) тембр голоса, физическим эквивалентом которого является спектр звука, т. е. графическое отображение частотного (обертонового) состава голоса,

б) мелодика речи (изменение высоты голоса во времени),

в) энергетические характеристики (сила голоса и её изменение),

г) темпо-ритмические особенности речи,

д) индивидуальные особенности произношения и атипичные звуковые отрезки (смех, покашливание, заикание и т. п.) (Морозов, 1998; Thomas, 2011).

Данные признаки речи далее объединяются в группы по времени звучания и по ситуации, в которой находился говорящий. С помощью них можно вернуться к моменту произнесения высказывания и оценить, теперь уже объективно, психофизиологическое и эмоциональное состояние говорящего. При рассмотрении акустических коррелятов различных состояний человека-оператора наибольшее внимание уделяется следующим из них:

1. Психологический стресс, который чаще всего описывают через термины эмоционального возбуждения и когнитивной напряжённости (Giddens et al., 2013). Такие состояния представляют особый интерес как индикатор ситуаций, при которых человек выходит из нормального психоэмоционального равновесия, и его деятельность нуждается в дополнительном контроле (Simonov et al., 1980; Buchanan et al., 2014).

2. Утомление, засыпание, потеря концентрации внимания – особая значимость определения этих состояний проявляется на высокотехнологичных производствах, связанных с монотонной, но критически важной работой, от которой может зависеть безопасность и жизнь людей. Диагностика психофизиологического состояния человека востребована у специалистов таких профессий как водители (поездов, грузовиков, рейсовых автобусов), лётчики, космонавты, военные и др. (Begum, 2013; Baykaner et al., 2015)

3. Другие эмоциональные состояния, диагностик которых может иметь как прикладную, так и научную значимость – в зависимости от гипотез, которые психологи ставят в тех или иных условиях деятельности человека-оператора (Ramus et al., 1999; Картавенко, 2005;).

В следующих главах мы узнаем, какие факторы влияют на качество и характеристики звукового сигнала и какие математические методы можно использовать для обработки звучащей речи.

1.2.2. Факторы, влияющие на характеристики речевого сигнала

Существует множество причин паралингвистического разнообразия характеристик речи. Британские психологи Khan Baykaner, Iya Whiteley и Mark Huckvale выделяют следующие:

1. Условия среды коммуникации. Когда разговорное общение происходит в шумной среде или по искажающему звук каналу связи, люди меняют способ, которым они говорят, пытаясь сохранить разборчивость и понятность своей речи для собеседника. Они могут увеличить громкость своего голоса, говорить медленнее и осторожнее, или использовать лингвистические стратегии для увеличения информативности сообщений.
2. Характер общения. Цель сообщения влияет на способ его произношения: вопросы и команды имеют различную просодию к утверждениям факта, которые в свою очередь отличаются от фатического, неформального общения. Элементы сообщения, содержащие важную или необычную информацию, произносятся более чётко, чем те, у которых есть тривиальный или предсказуемый контент.
3. Отношения между собеседниками. Социальные отношения между говорящим и слушателем могут иметь эффект: разговор с другом может отличаться от разговора с незнакомцем, говорящий с начальством будет вести себя иначе, разговаривая с подчинённым. Собеседник, разговаривая с иностранцем, будет замедлять свою речь и использовать специфическую манеру подачи, если посчитает, что тот может неправильно его понять.
4. Физические характеристики говорящего. Характеристики речи индивидуально варьируются в зависимости от длины голосового тракта и размера гортани, что вносит фундаментальные изменения в спектральные характеристики их речи.

Вариации в форме, размере и гибкости голосовых связок будут влиять на речь также, как и любая их патология.

5. Голосовые привычки. Говорящие различаются по своему выбору артикуляторных установок (например, назальность, грассирование или одышка) и различаются по своему выбору и исполнению артикуляторных жестов. Авторами было высказано предположение, что индивидуальные черты, такие как экстраверсия или интеллект, также влияют на голосовые привычки.
6. Здоровье. Частотные характеристики речи говорящего будут варьироваться в зависимости от состояния здоровья человека – это касается как общих особенностей большинства респираторных заболеваний (характеризующихся давлением в лёгких, вибрацией вокального сгиба и назальностью), так и более специфичных проблем со здоровьем, оказывающих влияние на нервно-мышечный контроль в целом, что в итоге влияет на качество голоса и артикуляции.
7. Эмоциональное состояние. Тон речи безусловно будет меняться, когда оператор находится в возбужденном эмоциональном состоянии, например, в состоянии радости, грусти или злости.
8. Физическое состояние. На характеристики артикуляции могут влиять физические условия, в которых находится говорящий, такие как перегрузки, вибрация, повышенная/пониженная температура, недостаток кислорода, задымлённость и т. д.
9. Физиологическое состояние. Физиологическое состояние говорящего может изменяться за относительно короткие периоды времени. Примерами таких изменений, влияющих на речь, могут быть усталость, физическое напряжение, обезвоживание, интоксикация и др.
10. Психологическое состояние. Речь может изменяться, когда говорящий попадает в стрессовые ситуации, например, в условия высокой психической нагрузки или физической опасности. Изменения в голосе могут указывать, насколько хорошо человек справляется с возникающими трудностями (Baykaner et al., 2015).

Таким образом, схематично особенности речевого сигнала человека-оператора можно было бы отобразить в форме данной диаграммы (см. Рис. 2):



Рис. 2. Индивидуальные особенности человека-оператора и его речь

Как мы видим, существует много источников влияния на паралингвистические характеристики высказывания. Это создает богатую почву для научных исследований, однако также создаёт некоторые технические трудности при интерпретации данных аппаратного метода, связанные в первую очередь с коммуникационными особенностями операторов:

1. Один и тот же акустический эффект может быть следствием разных причин. Повышение модальной составляющей речи говорящего можно объяснить его реакцией на шумную среду, увеличением эмоционального возбуждения, отражением важности сообщения или повышенным уровнем тревоги при стрессе (Slavich et al., 2019). Помимо этого, акустический речевой сигнал, регистрируемый в реальных условиях деятельности, во многом отличается от сигнала, получаемого в лабораторных условиях, его спектральная структура оказывается изменённой (Ruiz et al., 1996; Thomas, 2011).
2. Каждый человек по-разному реагирует на изменение своего состояния. Существует множество свидетельств индивидуальной изменчивости того, как эмоциональное, физиологическое или психологическое состояние говорящего влияет на его речь (Scherer, 2000; Sondhi et al., 2015). Некоторые люди остаются спокойными при стрессе, некоторые излишне возбуждаются, другие подвержены быстрому

утомлению и проч. А.В. Никонов подчёркивает, что использования одних только фонетических признаков при оценке функционального состояния оператора недостаточно – необходимо использовать характеристики других уровней речи, а также двигательные-поведенческие и проксемические реакции, то есть рассматривать речь комплексно (Никонов, 1985).

3. Возможность обмана. Поскольку речь идёт о производительности, она тоже может находиться под сознательным контролем. Люди, знающие, что их деятельность подвергается оценке, стараются вести себя иначе, чем в обычной жизни – демонстрировать другие эмоции или их интенсивность, быть более сдержанными или импульсивными (Gushin et al., 2016; Supolkina et al., 2021). Здесь особенно важным представляется изучение мотивационно-смысловой сферы в контексте деятельности человека.

Помимо этого, нельзя забывать про трудности, связанные с качеством цифрового сигнала, – проблемой может стать перекрывающий частотный спектр стационарный шум, не позволяющий не только качественно автоматически обработать речь, но и нарушающий слышимость участниками коммуникации друг друга (Pohjalainen et al., 2016).

Ограничения программно-аппаратного способа исследования акустических характеристик речи можно компенсировать, сочетая его с контент-анализом, как это сделано в работе В.И. Мясникова и И.М. Замалединова: работая в совокупности, эти методы создают более полную картину речевой реальности, чем каждый по отдельности, и понижают значимость технических ограничений (Мясников и др., 1997). Также необходимо использовать в исследованиях психологические методы диагностики личности и её мотивов и самооценочные опросники – методы, позволяющие уточнить гипотезы о факторах, описанных выше, которые, безусловно, будут влиять на характеристики речи (Slavich et al., 2019).

Только комплексный подход к изучению акустических явлений речи позволяет правильно интерпретировать объективный аппаратный метод (Никонов, 1985; Kluender et al., 2003).

1.2.2.1. Эмоциональные и психические состояния говорящего

Значимость оценки эмоциональной окрашенности речи операторов, решающих поставленные задачи, сложно переоценить – по предыдущим главам мы показали, что эмоциональные состояния говорящего могут быть интерпретированы как следствие совладающего со стрессом поведения. Речеобразование, как отражение профессиональной деятельности, оказывается произвольно взаимосвязанным с физиологическими процессами, отражающими эмоционально-волевые процессы говорящего (Морозов, 1998; Juslin et al., 2003; Юсупова и др., 2011; Vlasenko et al., 2012).

Тем не менее, в большинстве методик анализа речи отсутствует учёт эмоциональной составляющей, в связи с чем количественная оценка психофизиологического состояния человека-оператора по речевому сигналу является актуальной научно-технической задачей (Перервенко, 2009). На данный момент активно ведётся разработка математических моделей для выявления именно эмоциональной составляющей речи.

В связи с этим необходимо понять, каким образом эмоциональная окраска речи показывает изменение психологического и физиологического состояния человека. Изменение голоса проявляется в различных акустических характеристиках речи, таких как процент пауз, громкость, частота тона речи и др. (Williams et al., 1972). Физические явления, такие как изменение энергии речевого сигнала, частоты основного тона, временных и спектральных характеристик, а также изменение формантных частот, позволяют определить функциональное состояние человека.

Психофизиологический стресс влияет на работу голосового аппарата следующим образом:

а) В стенических состояниях (состояние возбуждения и повышенной активности) мышцы, отвечающие за звукопроизношение, напрягаются, а в астенических состояниях (слабости, утомления и истощения) они расслабляются (Brenner et al., 1979; Johannes et al., 2000).

б) Нарушается координация между мышцами, отвечающими за ритм дыхания и формирование звуков речи (Buchanan et al., 2014).

в) Слизистые оболочки горла и рта подвергаются функциональным изменениям, что может проявляться в появлении сухости или, напротив, повышенного слюноотделения (Kienast et al., 2000; Романенко, 2011).

Считается, что частота основного тона речи даёт самые надежные результаты при разграничении утомления и эмоционального напряжения, стенических и астенических состояний. Однако и при использовании этой характеристики есть вероятность получения противоречивого результата. Картавенко М.В. в своей статье «Об использовании акустических характеристик речи для диагностики психических состояний человека» (2005) приводит мета-обзор существующих исследований. Основываясь на представленных данных, наиболее часто описывается дихотомия стенических/астенических состояний: при стенических эмоциональных состояниях (раздражение, восторг, тревога, удивление и др.), частота основного тона увеличивается, в случае же с астеническими эмоциями (тоска, безразличие, печаль, усталость и др.) она понижается. Однако Картавенко М.В. отмечает, что существует ряд исследований, демонстрирующих ровно противоположные заключения по таким эмоциям как радость, страх и печаль, что говорит ставит вопрос о уточнении полученных результатов с помощью увеличения выбор исследования.

Если отойти от классификации эмоций по частоте основного тона, то необходимо обратиться к нашим знаниям в описании эмоциональных состояний и принципам их разделения.

Эмоции различаются по интенсивности, длительности и осознанности их причин, поэтому эмоциональные состояния принято разделять на настроения, собственно эмоции и аффекты. Невербальное их проявление в акустической системе можно было бы описать через характеристики силы голоса и динамики её изменений во времени. Так, печальный голос ассоциируют с понижением интенсивности речи и увеличением числа пауз, а раздражённый или злой, напротив – с повышением громкости, понижением тембра и др. (Kienast et al., 2000). Помимо этого, изменения интенсивности и тональности голоса, а также их специфика на временной шкале представляются крайне важными: их плавные возрастания и снижения характерны для грусти («плачущие интонации»), а заметные пики и внезапные прерывания – для злости и гнева (Морозов, 1998; Романенко, 2011; Киселёв, 2012).

Хроматиди А.Ф. выделяет особенности произнесения эмоциональных высказываний: уникальное изменение высоты основного тона, максимальная динамичность и увеличение длительности высказывания. Отдельно стоит отметить наличие в устной речи интонационной окраски – исследовательница говорит о существовании преимущественно логических (повествования, перечисления, выделения ударных слов, пауз, изменения темпа речи – то, что называется «логической мелодией»), эмоциональных и волевых интонаций (вопроса, утверждения, восклицания, удивления, просьбы, предложения, повеления и др.).

Обзор исследований, проведённых с носителями различных культур и языков убедительно показал, что, несмотря на широкий диапазон интонационных спектров, в ней сохраняются постоянные структуры – интономы – как ключевой фактор невербальной коммуникации: вопрос, приказ, угроза, извинение и прочие (Хроматиди, 2005).

Тем не менее, кратковременное изменение эмоциональной окрашенности речи редко будет указывать именно на функциональное состояние оператора – за исключением пиковых стенических и астенических интонаций.

1.2.2.2. Особенности речевого поведения в экстремальных условиях

Основной целью разговорного языка является кодирование и передача информации через лингвистические структуры, составленные из фонологических единиц, слов и предложений. По данным Т.А. Фургеловой, преимущества акустической передачи информации особенно проявляются, когда у участников коммуникации существует необходимость в передаче простых и коротких сообщений, не связанных длительной последовательностью; когда сообщение требует немедленного действия; работа требует постоянного перемещения; а также когда зрительная система оператора перегружена или оператору требуется адаптация к условиям освещения в пункте получения сообщений (Фургелова, 2010).

Однако помимо информации, передаваемой через сообщения, речь также передаёт особенности состояния говорящего. Помимо информационной составляющей, речь – это акт нервно-мышечного контроля вокальной артикуляторной системы, созданный конкретным человеком в определенных обстоятельствах. К такому выводу приходит американский математик Клод Шеннон – в соответствии с его информационной теорией речь можно описать как информационным содержанием, так и представлением её в виде сигнала, то есть в виде акустического колебания (Савченко, 2017). В связи с этим часто проводится различие между лингвистическими аспектами высказывания, которые передают смысл, и паралингвистическими аспектами, которые передают информацию об произнесении как о производительности (Носенко, 1975).

Именно производительность речи может многое рассказать о психофизиологическом состоянии, в котором находится оператор (Ramus et al., 1999). Критические, подчас неблагоприятные условия деятельности диктуют особенные формы

речевого поведения, по которым можно понять, насколько хорошо человек справляется с действующей на него нагрузкой. М.С. Волкова, ссылаясь на исследования А.С. Рубцовой и других авторов (Волкова, 2014), делает вывод о том, что в условиях экстремальных ситуаций вербальные реакции человека приобретают следующую окраску:

- лаконичность в использовании слов и простота фразовых конструкций;
- отступление от правил грамматики и норм высказываний;
- активное применение вопросительных и восклицательных предложений для усиления эмоционального воздействия;
- частое использование указательных и личных местоимений для точного обозначения участников событий;
- расширенное применение фразовых глаголов, передающих динамику и напряженность речи («Сделайте», «Выполняем», «Уточните», «Решаем» и проч.);
- употребление междометий и междометных слов, выражающих в языке экспрессию;
- частый приём повтора для передачи эмоционального напряжения и возбуждения;
- изменение основных голосовых характеристик как следствие психической напряженности человека в чрезвычайной ситуации.

Кроме того, исследовательница отметила, что в безвыходных кризисных ситуациях люди могут прибегать к агрессивным и ненормативным формам поведения как способу выражения отрицательных эмоций по поводу своей беспомощности.

Однако, как мы знаем по предыдущей главе, не всякая ситуация оценивается человеком как безысходная – в большей степени это зависит от его собственных стратегий преодоления стресса, а также общей социальной ситуации диалога (Ruiz et al., 1996; Johannes et al., 2000). Поэтому что касается эмоциональной окраски речи, её лингвистической и паралингвистической специфики, то здесь можно выявить большой спектр различных значений эмоционального проявления.

Определённые методологические трудности вызывает вопрос соответствия психологических состояний функциональным состояниям оператора – в связи с чем многие учёные, исследующие с помощью акустических характеристик речи функциональное состояние операторов, говорят не про прямую связь каких-либо признаков с

психофизиологическим состоянием человека, а про их уточняющую роль. Так, ряд исследователей говорит про уточняющую роль тех или иных алгоритмов акустического анализа, которые должны быть включены в более широкую диагностическую модель психофизиологического состояния человека: Хроматиди А.Ф. придерживается такой позиции по отношению к разработанному ей методу нелинейной динамики, а Перервенко Ю.С. в своей работе указывает, что, вне зависимости от индивидуальных характеристик произношения, существуют определённые состояния геометрии аттрактора, соответствующие различным эмоциональным состояниям, что в свою очередь может служить классификационным признаком функционального состояния человека (Хроматиди, 2005; Перервенко, 2009).

Связь между эмоциональным состоянием оператора и реакцией его организма на меняющиеся условия окружения подчёркнута и в работе Картавенко М.В. – учёный отмечает, ссылаясь на отечественные и зарубежные источники, что при эмоциональном стрессе ЧОТ может увеличиваться на 20-45% от обычного значения (например, во время нештатной ситуации, при потере связи самолёта с ЦУПом и др.), а в некоторых случаях может достигать 100-250% (при десантировании, катапультировании, крушении самолёта и др.). В период усталости частота основного тона уменьшается на 10-70%, а при состоянии подавленности и депрессии может снизиться более чем вдвое. Помимо различий между напряжением и астеническим состоянием, исследователь приводит примеры операторского напряжения: в состоянии повышенного внимания частота основного тона могла увеличиваться на 30-50%, а при выраженной концентрации (при помехах в канале связи, по которому происходила коммуникация) – до 70-90% (Картавенко, 2005).

Разделение эмоциональных и физиологических состояний остаётся актуальной методологической проблемой, так как существует множество факторов, не позволяющих выделить «чистые» параметры именно функционального состояния – будь то качество передачи связи или эмоциональное состояние оператора. К наиболее сложным смешениям эмоционального и функционального состояния относится речевое поведение людей, работающих на орбитальной станции – Мясников В.И. и Степанова С.И. пишут про неизбежное изменение церебральной гемодинамики в условиях низкой гравитации, вызывающее помимо ощущения тяжести в голове развитие неврозоподобных состояний. Исследователи также говорят и об обратном феномене – эмоциональная напряжённость ведёт к психической астенизации, последствием которой является утомляемость, неустойчивость настроения, раздражительность (Мясников и др., 2002).

Определённо, что и психофизиологическое, и эмоциональное, и когнитивное состояние говорящего сказывается на его речи, и исходя из этого речь представляет из себя интегративное явление, способное многое рассказать о состоянии человека.

1.2.2.3. Акустические характеристики речи и функциональное состояние говорящего

Акустические характеристики речи тесно связаны с его функциональным состоянием человека и могут быть использованы для его оценки. Изменение количественных параметров речи может отражать динамику психологического состояния человека, а также указывать на возникновение патологических изменений в голосовых связках или других частях речевого аппарата, что косвенно может указывать на нарушения в работе других систем организма. Таким образом, анализ акустических характеристик речи может служить диагностическим инструментом для определения психологического и функционального состояния, а также здоровья говорящего.

Одним из первых исследуемых и до сих пор наиболее востребованных параметров речевого сигнала является частота основного тона речи (ЧОТ) (Buchanan et al., 2014; Pisanski et al, 2018). ЧОТ голоса обусловлена частотой колебаний голосовых складок, которая, в свою очередь, находится в зависимости от их длины, толщины и напряжения. Её вычисление позволяет решать многие практические задачи развивающихся речевых технологий, такие, как определение пола говорящего, идентификация слов и фраз, оценка психоэмоционального статуса человека, а также диагностика функционального состояния голосового аппарата (Johannts et al., 2007; Teixeira et al, 2011; Alberdi et al, 2016, Akçay et al., 2020). Частотный диапазон речи находится в пределах 70-7000 Гц. Средняя частота основного тона (ЧОТ) в расслабленном состоянии описывается в среднем в границах 90-200 Гц для мужских и 180-320 Гц для женских голосов. При выходе человека из спокойного (нормального) состояния происходит прямо пропорциональное интенсивности этих изменений уменьшению или увеличению ЧОТ (Картавенко, 2005). Начиная с 1930-х годов, определение ЧОТ стало основой для развития различных подходов к акустическому анализу речи.

Интенсивность или сила звука определяется его мощностью. Мощность звука – это энергия, которая излучается источником в единицу времени (измеряется в ваттах, Вт). Интенсивность измеряется в Вт/м², но в этих абсолютных физических величинах её представляют редко. Для измерения интенсивности обычно используется логарифмическая

шкала децибел (дБ). Громкость голоса (субъективное восприятие интенсивности) зависит от амплитуды колебания голосовых складок, что позволяет судить об их физиологическом состоянии. Амплитуда колебаний определяется величиной подскладочного давления, которое является результатом работы резонаторного отдела голосового аппарата (Мохотаева и др., 2010). Громкость речи спокойно разговаривающего человека в среднем составляет 40-60 дБ, в возбуждённом состоянии – 70-80 дБ (Rothkrantz, 2004).

Длительность пауз – абсолютная величина, соответствующая физической длительности паузы, т.е. перерыву звучания при падении среднего звукового давления нуля на стыке между отдельными сегментами речи. При анализе длительности высказывания учитывается процент пауз, которые делает говорящий между словами и предложениями. Это может указывать на уровень и характеристики стенических или астенических состояний человека-оператора (Buchanan et al., 2014).

Изучение джиттер- и шиммер- эффектов является важным методом для выявления патологий голоса и часто используется специалистами-реабилитологами в клинической практике (Zwetsch et al., 2006; Teixeira et al., 2011). Джиттер – мера изменчивости (возмущений) частоты основного тона, показывающая произвольные колебания частоты смежных вибрационных циклов в голосовых складках. Шиммер – мера аналогичная джиттеру, характеризующая модуляцией амплитуд сигнала на смежных циклах колебаний основного тона. Причина широкого применения параметров джиттера и шиммера в задачах диагностики патологии в голосе заключается в том, что у здоровых людей вибрации голосовых связок имеют регулярный характер, в то время как при наличии патологий эта регулярность нарушается (Teixeira et al., 2014; Teixeira et al., 2016).

Отсутствие контроля над вибрациями голосовых связок оказывает значительное влияние на уровень джиттера, который обычно выше у пациентов с патологическими изменениями голосового аппарата. Большинство исследователей считают типичными колебания значений от 0,5 до 1,0% для устойчивой фонации у лиц молодого возраста (Teixeira et al., 2011).

Шиммер меняется при снижении сопротивления голосовой щели и объемных образований на голосовых связках и коррелирует с наличием шумовой эмиссии и придыхания. Считается патологическим голос при значениях менее 3% у взрослых и около 0,4 и 1% у детей (Guimarães, 2007; Teixeira et al., 2013). Однако исследования реальных записей переговоров пилотов и водителей, показывают, что изменения функционального состояния оператора также могут влиять на обычную для человека вариабельность частоты и амплитуды речевого сигнала, а интенсивность этих изменений будет прямо пропорциональна испытываемому стрессу (Farrús et al., 2007).

Интересно отметить, что шиммер и джиттер интерпретируются в контексте стрессовых состояний по-разному. Ряд авторов, проводящих сравнение с физиологическими показателями (КГР, уровень кортизола в слюне, ЭЭГ) указывает на то, что процентное содержание шиммера и джиттера снижается во время выполнения сложной когнитивной деятельности и во время сильной тревоги (Mendoza et al., 1998; Giddens et al., 2013; Van Puyvelde et al., 2018).

С другой стороны, исследователи, пользующиеся программами распознавания эмоций по речи (обученными на базах аудиофайлов, записанных актёрами), утверждают, что более высокое процентное содержание джиттера указывает на эмоциональный стресс (Li et al., 2007), раздражение (Johnstone et al., 1999), гнев (Jacob, 2016; Juslin et al., 2003), а также счастье (Johnstone et al., 1999; Juslin et al., 2003) и «уверенность» (Jiang et al., 2017), в то время как более низкие значения джиттера указывают на негативные эмоции, такие как грусть (Juslin et al., 2003).

Повышенный шиммер в работах тех же авторов является индикатором более высокого стресса (Li et al., 2007) и гнева (Jacob, 2016), а пониженный – сигнализирует о проявлениях положительного аффекта, например, радости (Jacob, 2016). Будучи обработанными с помощью алгоритмов машинного обучения, шиммер и джиттер часто используются в последних алгоритмах распознавания эмоциональных состояний по речи (Jacob, 2016).

Соотношение шума и гармонических компонентов, или же NHR (Noise-to-Harmonic Ratio), представляет собой среднее соотношение негармонической спектральной энергии в диапазоне от 60 до 4350 Гц к гармонической энергии в аналогичных границах. Так, у здоровых детей и взрослых NHR не должно быть выше 0,2. Превышение указанных значений гармоник-к-шуму указывает на присутствие спектрального шума, вызванного прерываниями фонации, нестабильностью голоса по частоте и амплитуде, появлением негармонической спектральной энергии и турбулентного шума (Мохотаева и др., 2010). Чаще всего данный параметр используется для оценки качества голоса и обнаружения патологий, связанных с охриплостью (Степанова и др., 2021).

Наибольшую эффективность при оценке состояния человека получает подход, при котором измерение описанных выше параметров производится в динамике. В таком случае исследование функционального состояния оператора возможно только в долгосрочной перспективе, а изменения голоса должны сравниваться с нормой в контексте не одного разговорного промежутка, а в контексте речевого поведения в течении дня, нескольких дней и недель – тогда можно будет говорить об изменении функционального состояния, о

психических ресурсах человека или о нарастающей психической астенизации (Мясников и др., 2002).

1.2.3. Исследование речи аппаратурными методами

Исследование речи аппаратурными методом начинается с приёма акустического сигнала, его компьютерной обработки и затем выделения требуемых акустических компонентов с последующей работой над ними.

Регистрация речевого сигнала представляется удобным и эффективным методом сбора данных для дальнейшего анализа, поскольку не требует не только контактных и инвазивных датчиков, но зачастую и дополнительно выделенных каналов для передачи информации – использование штатных устройств связи позволяет продолжительное время без возникновения физических и психологических помех для оператора вести мониторинг его психофизиологического состояния (Морозов, 1988; Cermack, 2006; Slavich et al., 2019).

Программная обработка речи начинается с распознавания текста стенограммы или непосредственно звучащей речи. Вычисления на основе алгоритма скрытых марковских моделей, в которых анализируется вероятность появления каждой буквы в тексте в зависимости от её окружения, были первыми привычными системами распознавания содержания речи. Исследования показали, что вероятности переходов между буквами в разных фрагментах текста практически одинаковы (Савченко, 2017). При распознавании не текстовых, а звуковых составляющих устной речи, наиболее простым элементом будет считаться не фонема, а её реализация (Ramus et al., 1999). Но именно из-за того, что реализация фонем будет различаться в произношении каждым отдельным человеком в каждый конкретный момент времени, в системах распознавания естественно звучащей речи используются более сложные минимально достаточные речевые единицы, такие как трифоны (Syrdal et al., 1986). Построение акустической модели речи для автоматического распознавания содержания, отражающей зависимость параметров речевых сигналов от типа их звуковых единиц, является одной из самых сложных задач.

После расшифровки и перевода звучащей речи в текст или осциллограммы, наступает этап соотнесения полученных данных с информацией, которая позволила бы оценить эмоциональное и функциональное состояние человека. В контексте изучения влияния стрессовой ситуации на человека-оператора обычно применяют два подхода, объединяющие аспекты речи в две группы. Первая категория, делающая акцент на анализе

содержания высказываний, включает исследования синтаксиса, морфологии и лексики (Юсупова и др., 2011). Вторая категория исследований сосредоточена на анализе акустических характеристик речи и включает исследование фонетики и дискурсивного компонента, и опирается в первую очередь на невербальные компоненты речи (Ramus et al., 1999; Картавенко, 2005).

Рассуждая об этих двух подходах, Морозов В.П. предлагает теорию двухканальной речевой коммуникации, состоящей, с одной стороны, из лингвистического компонента (собственно речевого, вербального), с другой – из экстралингвистического (неязыкового, невербального). С точки зрения такого разделения, слушателю с помощью невербального компонента речи транслируется такая разнообразная информация как психоэмоциональная (о состоянии собеседника), индивидуальные особенности говорящего, биофизическая, социальная, медицинская и другие категории сведений, такие как информация об окружающих говорящего условиях жизнедеятельности (Морозов, 1998; Морозов, 2001).

Зачастую, неязыковые аспекты речи вносят не меньший вклад в коммуникацию чем её содержательная сторона. Тем не менее, невербальная сторона взаимодействия имеет свои собственные функции и передаёт информацию, не зависящую напрямую от содержания высказываний. Так, по звучанию голоса слушатель может узнать говорящего, определить его или её пол и возраст, эмоциональное состояние, расположенность к беседе и др. Помимо этого, нередко невербальная информация может отличаться от семантики слова: например, дружелюбные слова, произнесенные отстранённым тоном, саркастические высказывания и др. (Фролов и др., 2009).

В своём докладе "Речь, эмоции и личность: проблемы и перспективы" (1978) Галунов В.И. отмечает, что речь служит множеству социальных функций, и особенно выделяет три из них: индикационную, коммуникативную и эмотивную. Индикационная функция проявляется в отражении индивидуальных особенностей собеседников, их взаимного социального статуса и неформальных отношений. Коммуникативный аспект речи направлен на трансляцию информации об окружающей среде и изменениях в ней. И, наконец, эмотивная компонента отражает внутреннее состояние человека и служит цели «дренажа» эмоций. Считается, что особенно ярко связь между акустическими показателями речи и психическими состояниями обнаруживается в отражении социального статуса, а также при проявлении аффектов. Каждая из этих функций может проявляться как произвольно, так и непроизвольно через изменения в речевых показателях (Картавенко, 2005).

Так как произвольные речевые конструкции речи могут не содержать достаточной информации о психоэмоциональном статусе человека, более глубокий уровень реализации речевых функций – неосознаваемые невербальные сигналы – представляет особый интерес для автоматизированного анализа состояния человека-оператора.

1.2.3.1. Алгоритмы акустического анализа речи

Одним из самых изучаемых и все еще востребованных аспектов анализа речевого сигнала является частота основного тона (ЧОТ). Этот параметр находится в центре внимания при решении различных задач, таких как определение пола говорящего, выявление его/её психоэмоционального состояния, декодирование информации в целях последующей расшифровки, а также медицинской диагностики работы голосового аппарата (Knight et al., 2006; Speyer, 2008). С начала 1930-х годов определение ЧОТ стало базовым элементом для развития разнообразных методов акустического анализа речи. (Flanagan et al, 2008).

Математические алгоритмы для вычисления ЧОТ были разработаны с учётом работы в естественных, а значит довольно сложных условиях: с искажённым звуковым сигналом, в шумных или нестандартных условиях записи. К 1970-м годам уже существовали основные подходы к решению этих проблем: методы анализа во временной и частотной областях, а также различные их сочетания (Тиунов, 2014).

Ранние подходы к анализу звуковых сигналов, основанные на автокорреляционной функции, разностной функции и пересечении с нулём, были просты в использовании, однако не обеспечивали достаточную надёжность для сложного анализа человеческой речи. С развитием области анализа речи, метод автокорреляции был модифицирован для повышения точности результатов. Новый алгоритм, получивший название YIN (балансирующий Инь), уравнивал недостатки классического метода автокорреляции, уменьшил чувствительность к амплитудным модуляциям, использовал параболическую интерполяцию минимума и предотвратил резкие изменения значений. В течение длительного времени YIN считался наиболее надёжным подходом к изучению акустических характеристик речевого сигнала (de Cheveigné, 2002).

В настоящее время существует несколько методов компьютерной обработки звучащей речи, которые позволяют не только различать речевые образцы, но и распознавать различные эмоциональные состояния дикторов. Среди наиболее часто применяющихся

алгоритмов – спектрально-временные, кепстральные, амплитудно-частотные, основанные на нелинейной динамике, вейвлет-преобразования и методы на основе опорных векторов.

Характеристики спектрально-временных признаков являются отражением уникальности формы временного ряда, спектра голоса и фильтрующих возможностей голосовых трактов различных индивидов. Методика анализа спектрально-временных признаков охватывает изучение трех основных компонентов речевого сигнала: периодических (тональных) областей звуковой волны, непериодических сегментов звуковой волны (шумовых, взрывных) и участков без пауз в процессе речи. Изменение этих характеристик во времени отражает особенности речевого потока, связанные с динамикой перестройки артикуляционных органов речи говорящего (Вартанов, 2013). В рамках спектрально-временных алгоритмов были выделены параметры, сохраняющиеся при повышенном уровне сигнала, являющиеся комплексными характеристиками потока речи и описывающие статистические особенности сигнала, включая ЧОТ и целостную спектральную структуру. Однако исследование Филатовой Н.Н. и Сидорова К.В. показало, что только на основе простых спектральных характеристик звукового сигнала невозможно точно распознать и идентифицировать разные эмоции (Филатова и др., 2012). Тем не менее, спектральные и кепстральные признаки широко используются для быстрого и эффективного подавления шума на аудиозаписях для дальнейшего анализа и обработки чистого речевого сигнала (Pohjalainen et al., 2016).

Традиционно в целях выявления наиболее информативных акустических коррелятов эмоциональных и функциональных состояний рассматривается изменение частотных, временных и мощностных характеристик голосового сигнала (Бабин, 2004). К примеру, Г.А. Адашинская (2007) подчёркивает связь между акустическими параметрами речи, эмоциональными и функциональными состояниями, которая проявляется в разнонаправленной динамике временных и мощностных параметров речи.

Метод мел-частотных коэффициентов (MFCC) является одним из наиболее распространённых в системах распознавания речи, используемых для вычисления характеристик речевого сигнала. Он учитывает психоакустические особенности восприятия речи, базируясь на мел-шкале, связанной с частотными полосами слуха. Расчёт включает в себя использование различных коэффициентов, включающие мел-частотные, линейного предсказания, чувствительности слуха, мощности частоты, кепстра и спектра (Panchapagesan, 2006). Набор признаков, основанных на MFCC, способен выделять эмоциональные оттенки при произнесении слов, помогая распознавать эмоциональные состояния по характерным сигналам речевых образов (Вартанов, 2013). Тем не менее,

исследования показывают, что точность определения базовых эмоций при помощи MFCC может оставаться недостаточно высокой, колеблясь в пределах от 64% до 80% (Likitha et al., 2017; Koo et al., 2020).

Нелинейная динамика речевого сигнала рассматривается как скалярная величина, наблюдаемая в голосовом тракте человека. На сегодняшний момент подходы нелинейной динамики и авторегрессии открывают возможности для восстановления фазового портрета аттрактора по временной последовательности или одной из его координат. Исследования подтверждают, что различия в структуре аттракторов могут быть использованы для разработки диагностических признаков и правил для распознавания идентификации различных эмоций в речевом сигнале. Филатова Н.Н. и Сидоров К.В. (2012) предложили модель интерпретации эмоционального оттенка, основанную на объединении нечётких множеств, характеризующих значения усреднённого максимального вектора реконструкции аттрактора по четырём квадрантам (Филатова и др., 2012). В исследовании Хроматиди А.Ф. (2005) результаты использования метода нелинейной динамики позволили определить размерность фазового пространства и показатели Ляпунова для различных количественных параметров речи. Это позволило классифицировать не только эмоции говорящих, но и психофизиологическое состояние операторов железнодорожного транспорта. Так, было зафиксировано увеличение частоты основного тона и формант ударных гласных на 50-150% в речи диспетчеров во время стрессового события (Хроматиди, 2005).

В исследовании китайских математиков Ying Sun, Xue-Ying Zhang и коллег было приведено сравнение эффективности метода нелинейной динамики (Nonlinear Dynamics, NLD) с реконструкцией фазового пространства и метода мел-частотных коэффициентов (MFCC) для анализа речевых данных. Результаты на двух международных базах данных показали, что метод NLD, разработанный авторами, давал верные оценки базовых эмоций в 62-85% случаев, в то время как для MFCC точность составляла 36,6-75% (Ying Sun et al., 2020).

Подход к классификации эмоциональной речи, известный как метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM), представляет собой уникальное решение для анализа звуковых сигналов: так, широко известная открытая библиотека для машинного обучения libSVM использует этот метод для выделения более чем 6500 характеристик акустического сигнала. В настоящее время различные модификации метода позволяют не только выявлять особенности эмоционального состояния диктора, но и детально анализировать их с учётом индивидуальных особенностей человека. В статье Давыдова

А.Г. и коллег показана возможность достижения 95% точности классификации эмоциональных состояний говорящего путем добавления в алгоритм определенных информативных признаков (Давыдов и др., 2012). Учёные Huang, Ao и Zhang использовали метод взвешенных опорных векторов (Importance-Weighted Support Vector Machines, IW-SVM) для повышения устойчивости алгоритма к шумовому перекрытию. Использование весов значимости позволило компенсировать различия между тестовыми и обучающими данными, а также улучшило распознавание эмоций в речи в условиях гауссовского белого шума (Huang et al., 2021). Помимо этого, исследователи комбинировали метод опорных векторов с вейвлет-преобразованием для создания адаптивной программы анализа нестационарных сигналов речи в различных естественных условиях аудиозаписи.

Один из наиболее многообещающих алгоритмов работы с речевым сигналом считается вейвлет-анализ: спектрограммы, полученные с помощью этого метода, позволяют вычислять такие параметры аудиосигнала как разрывы, изменение знаков первой и второй производных, изменение частоты нестационарного сигнала и другие – как раз те особенности звучащей речи, которые плохо обнаруживаются алгоритмом Фурье-преобразования (Горшков, 2017). При вейвлет-анализе высокие уровни достигаются в коэффициентах вейвлетов, ориентированных на конкретные особенности исследуемой функции (Зубаков, 2010). В итоге вейвлет-анализ открывает новые перспективы для изучения всех нестационарных сигналов, включая и речевые. Исследователи показали, что использование программ на основе многоуровневого вейвлет-анализа речевых сигналов не только обеспечивает эффективное шумоподавление, но и улучшает способность определения говорящего и выявления его психоэмоционального статуса (Горшков, 2017; Гуцин и др., 2018).

Одна из разработок от Сороки А.М. и коллег – методика объединённых векторов на основе вейвлет-преобразования с адаптивными базовыми функциями, позволила добиться улучшения точности распознавания эмоций на 3%, достигая точности в 81%-92% для семи различных эмоциональных состояний по сравнению с другими методами на основе преобразования Фурье (в частности, мел-частотных кепстральных коэффициентов, MFCC) (Сорока и др., 2016).

Подобное сопоставление провела Kunxia Wang с коллегами: авторы изучили статические и динамические коэффициенты программы на основе вейвлетов на базах данных с аудио-дорожками на двух языках. Результаты их анализа также показали значительное повышение точности при распознавании эмоций по сравнению с обработкой

на основе MFCC – для международных библиотек голосовых аудиозаписей EMODB и EESDB это улучшение составило 15% и 4,5% соответственно (Kunxia et al., 2020).

За последние десять лет алгоритмы анализа речи достигли высокого уровня совершенства, позволяющего специалистам детально изучать эмоциональные и функциональные характеристики человека по его устной речи (Бабин, 2004; Hinton et al., 2012; Graves et al., 2014). Практически все основные методы вычисления акустических параметров речевого сигнала стали доступны в распространенных математических пакетах обработки сигналов, таких как MATLAB, SPL и IPPS. В открытом доступе находится такое программное обеспечение как PRAAT, SpeechAnalyzer, WinCecil, MacSpeechLab, PhonologyAssistant и другие, которые широко используются по всему миру как инструмент фонетического и фонологического анализа аудиозаписей речи. Эти программы обеспечивают изображение и анализ звуковых сигналов с помощью инструментов спектрограммы, графической визуализации акустической волны, графики изменения тона, интенсивности, длительности и формантной структуры.

Мировые лидеры в области научно-образовательных исследований, такие как Гарвардский университет, Массачусетский технологический институт, Бостонский университет и другие, активно занимаются развитием технологий речевого анализа. В России ключевые учебные заведения, включая МФТИ (с 2006 года) и ИТМО (с 2011 года), активно работают над разработкой автоматизированных систем обработки речи, а Группа ЦРТ («Центр речевых технологий») на коммерческой основе разрабатывает инновационные решения в области биометрии голоса, занимая лидирующие позиции в мировых рейтингах.

1.2.3.2. Алгоритмы шумоподавления

Проблема подавления технологических шумов в аудиозаписях в рамках космической медицины становится одним из критических вызовов для использования автоматизированных методов анализа акустических параметров речи в контексте пилотируемых космических аппаратов и орбитальных станций. Степень успешности решения этой проблемы в значительной мере зависит от разработки инновационных инженерно-технических решений, направленных на снижение уровня различных типов шумов – фоновых, периодических, взрывных (Киркоров et al., 2010). Параллельно, альтернативный подход к этой проблеме заключается в создании и оптимизации программных средств шумоподавления, применяемых в звукозаписи и анализе

аудиосигналов (Hansen et al., 1990; Jalalvand et al., 2015). Каждый из этих методов представляет собой значительный интерес, поскольку часть шумов можно исключить путем изменений в источниках или среде их распространения - в тех случаях, когда изменения в конфигурации космических аппаратов и технических средств на борту невозможны (Ахмад et al., 2007; Pohjalainen et al., 2016).

Необходимо отметить, что проблема шума выходит далеко за пределы исследования речи с высоким уровнем шума и аномальными условиями записи. В естественных условиях анализ речи ограничивается невысоким качеством аудиофайлов из-за помех различной природы, таких как фоновый шум, посторонние звуки и другие акустические явления. Это значительно затрудняет автоматическую обработку речи, такую как распознавание, идентификация диктора, кодирование и прочее. Для эффективного анализа зашумленных речевых сигналов требуются алгоритмы шумоподавления, которые способны очистить сигнал от внешних помех (Loizou et al., 2011; Likitha et al., 2017). Разработка и улучшение данных алгоритмов представляют собой одну из ключевых задач для изучения частотных характеристик речи. Однако, не все алгоритмы шумоподавления подходят для научных целей психоакустики, поскольку их основная задача заключается в повышении чёткости речи в условиях шума, а не в сохранении спектрального и частотного профиля (Ахмад et al., 2007; Киркоров et al., 2010; Gibak et al., 2011; Чепурных et al., 2015).

В своих лекциях Киркоров С.И. и Борискевич А.А. описывают различные методы работы алгоритмов по шумоподавлению и фильтрации добавочного шума в условиях записи речи (Киркоров и др., 2010):

- Применение инновационных методов цифровой обработки для речи в условиях шума;
- Адаптивная компенсация помех с опорой на сигналы, коррелирующие или не коррелирующие с зашумленным фрагментом;
- Использование статистических моделей речевого сигнала во временной области: линейного фильтра Калмана, методов нелинейной авторегрессии, рекуррентных алгоритмов и др.;
- Применение статистических моделей в частотной области, включая генерацию шума и имитацию речевого сигнала с помощью скрытых Марковских цепей;
- Использование методов, основанных на использовании спектральных характеристик шума (фильтрация Винера и традиционный метод вычитания амплитудных спектров);

- Внедрение методов машинного обучения и моделей человеческого восприятия речевого сигнала.

Это разнообразие подходов подчеркивает важность проблемы шумоподавления и фильтрации в области анализа речевых сигналов. На сегодняшний день не существует универсального и надёжного алгоритма, способного адаптироваться к различным условиям записи. Выбор подхода к обработке речи может варьироваться между улучшением разборчивости и сохранением натуральной интонации, что требует дальнейших исследований (Loizou et al., 2011). Для улучшения адаптивности методов важно учитывать условия записи, тип источника шума, а также использовать "эталоны" голосов дикторов в качестве ориентира (Мясников и др., 1997).

Предложенные подходы к работе с шумами должны применяться в комплексе, взаимно дополняя друг друга в зависимости от условий, в которых предполагается их использование. Однако успешность математической интерпретации связана с одной стороны с незашумлённостью аудиозаписи, а с другой – возможностью алгоритма подстраиваться под индивидуальные особенности говорящего.

На качество оцифрованного сигнала влияют такие технические факторы, как шумы окружения (аддитивный шум, всегда присутствующий в обычных помещениях, и реверберация – переотражённый от стен основной сигнал), влияние канала передачи (амплитудно-частотная характеристика микрофона и канала передачи («свёрточный шум») и аддитивный шум канала передачи) и так называемые «эффекты квантования» (преобразование сигнала фильтром Найквиста и шум квантования). Но, помимо этого, существует, пожалуй, самый неоднозначный фактор, определяющий вариативность акустического сигнала, – индивидуальные особенности говорящего.

Технические трудности можно решить при помощи более тщательного контроля сеансов записи, изолирующих голосовые эффекты в различных ситуациях – так, например, можно выявить различия характеристик речи при разных уровнях шума и изменении рабочей нагрузки операторов. Изучая диапазон параметров голоса, можно выявить определённые голосовые «штампы», свойственные отдельным личностям, – для этого понадобятся лонгитюдные исследования и обширная калибровка параметров речи каждого оператора. Иногда удается сократить различия в физических параметрах произношения разных субъектов, например, путем тонкой подстройки и адаптации стандартных звуковых моделей к индивидуальному голосу диктора. В таких случаях пользователь может произносить определённый текст в процессе эксплуатации ПО или на этапе машинного

обучения, и параметры акустической модели будут корректироваться для учёта особенностей его голоса. Однако иногда, в случае отсутствия заранее прописанных алгоритмов, требуется создание новой акустической модели, основанной исключительно на речевых образцах пользователя, с применением кластеризации минимальных звуковых единиц и математических методов теории информации (Савченко, 2017).

С учётом технических особенностей подобного материала, например, шума и искажений на аудиозаписях, крайне важно определить наиболее устойчивые к помехам параметры речевого сигнала. В своём цикле работ Никонов А.В. приходит к выводу, что наиболее надёжными и повторяемыми показателями в условиях естественного зашумления остаются средняя ЧОТ, диапазон её изменений, а также оценка мгновенных значений и формантных частот интонационного контура (Никонов, 1985). Ряд исследователей сообщает, что джиттер и шиммер определяется программами для анализа речи с достаточно высокой надёжностью независимо от того, в насколько шумных условиях была записана речь. Дополнительное использование таких акустических характеристик речи как громкость и процент пауз позволяют лучше дифференцировать состояния напряжённости и истощения, но нуждаются в опоре на более надёжные в условиях шума показатели.

1.3. Резюме

В представленной работе был проведён анализ отечественной и зарубежной литературы, посвящённой исследованию функционального состояния операторов, выделены факторы, влияющие на напряжённость деятельности в экстремальных ситуациях, описаны факторы стресса и совладания с ним, произведён анализ существующих методов диагностики функционального состояния человека при помощи оценки речевого поведения – и, в частности, его различных акустических характеристик. Описаны факторы, влияющие на параметры речевого сигнала и методы их технического анализа и интерпретации.

Один из количественных подходов изучения речи основан на теории информации, разработанной К. Шенноном, – в соответствии с этой теорией речь можно описать как информационным содержанием, информацией, так и представлением её в виде сигнала, то есть в виде акустического колебания (Савченко, 2017).

Именно изменение акустических характеристик речи было предложено нами для оценки функционального состояния человека-оператора как один из самых содержательных неинвазивных и дистанционных методов диагностики. Частота основного тона (ЧОТ), громкость голоса, процент пауз, шиммер- и джиттер- эффекта и их изменения

во времени передают наибольший объём невербальной информации – начиная от половой, возрастной и индивидуально-личностной характеристик говорящего, и заканчивая признаками изменения психологического, эмоционального и функционального состояния.

Существует множество методов компьютерной обработки речевого сигнала, базирующихся на математических моделях и предназначенных для определённых целей – определения принадлежности голоса, эмоциональной окраски и даже истинности передаваемого сообщения. Математический аппарат подобной диагностики прошёл большой путь от марковских моделей и преобразования Фурье к методам опорных векторов, нелинейной авторегрессии, машинного обучения, а также разнообразных их комбинаций (Филатова и др., 2012; Варганов, 2013; Тиунов, 2014).

Анализ психологических и физиологических состояний человека с помощью естественной речи ставит перед исследователями вызовы, требующие создания новых математических моделей и дополнительную их специализацию. Несмотря на большое количество разносторонних исследований, на данный момент отсутствует универсальная теория для точного описания речевых образцов при выражении эмоциональных состояний (Варганов, 2013). Кроме того, концепция оценки функциональных состояний оператора с помощью речи остается недостаточно разработанной (Адашинская, 2007).

Несмотря на неоднозначные результаты акустических изменений, вызванных острым стрессом, некоторые акустические особенности описываются в литературе чаще, чем другие. В контексте психофизиологического напряжения наиболее однородные результаты были получены для частоты основного тона речи (ЧОТ, f_0), её связь со стрессом чаще всего была прямой (Никонов, 1985; Картавенко, 2005; Pisanski et al, 2018). Менее однозначными на её фоне оказались процент джиттера и шиммера (вариабельности по частоте и амплитуде) – ряд исследователей указывает на положительную связь этих акустических параметров со стрессом, однако в других исследованиях были получены противоположные результаты (Teixeira et al., 2011; Giddens et al., 2013; Jacob, 2016; Van Ruyselde et al., 2018). Часто используемый исследователями параметр «отношение гармоник к шуму» (HNR; добавленный шум в голосе) снижается в контексте физического стресса (например, тренировки), но в контексте психологического стресса наблюдаются смешанные результаты (Park et al., 2019).

Таким образом, для точной диагностики функционального статуса человека-оператора необходимо использовать комплексную систему оценки множества параметров психофизиологического состояния организма, среди которых важную роль играет речевое

поведение. Изучение акустических характеристик речи доказало свою перспективность как объективный метод клинической оценки поведения и самочувствия людей, работающих удалённо и изолированно.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Объект исследования

Исследование особенностей изменения акустических характеристик речи оператора под воздействием моделированных факторов космического полёта производилось в рамках следующих модельных экспериментов: ЦКР-2018 (воздействие угловых ускорений с применением центрифуги короткого радиуса), Шум-2020 (шумовое воздействие), 21-суточная «сухая» иммерсия и 21-суточная «сухая» иммерсия с профилактическим воздействием ЦКР с участием мужчин (2018 и 2019 г.г.), 3-суточная «сухая» иммерсия с участием женщин (2020г.), а также 4-месячный изоляционный эксперимент SIRIUS-19 (см. Табл.1).

Таким образом, в рамках данной работы были проведены эксперименты, моделирующие факторы космического полёта разной длительности и интенсивности:

1. Менее длительным (час) и наиболее интенсивным по воздействию на психофизиологическое состояние человека стало исследование, проведённое на центрифуге короткого радиуса, имитирующее с помощью угловых ускорений профилактическое воздействие земной гравитации (Пичулин и др., 2008; Орлов и др., 2017), а также исследование воздействия шума и профилактических мер в эксперименте «Шум-2020» (Сигалёва и др., 2023).
2. Воздействие микрогравитации, имитируемое с помощью ванн «сухой» иммерсии, длилось от 3 до 21 дней и воссоздавало не только период острой адаптации к состоянию безопорности, но и более длительные физиологические перестройки организма (Козловская, 2008).
3. Длительные изоляционные эксперименты (от 2 недель до 4 месяцев) имели минимальное физиологическое влияние на организм человека, но заметное психологическое влияние, связанное со скученностью, автономизацией и сенсорной депривацией (Гущин и др., 2018).

Таблица 1. Структура и объём исследования

Экспериментальное воздействие	Кол-во аудиозаписей	Кол-во человек, пол	Циклограмма
«ЦКР-2018» Вращение на центрифуге короткого радиуса с тремя режимами максимальной	30	10 мужчин	Аудиозапись в течение вращения (1 час)

перегрузки			
«Шум-2020» Эксперимент по изучению влияния дыхания искусственными газовыми смесями и приёма бетагистина в условиях воздействия шума	24	10 мужчин	4 среза: <ul style="list-style-type: none"> • За 10 минут до воздействия, • 15 минут после начала воздействия, • 1 час после начала воздействия, • 10 минут после окончания воздействия
21-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием мужчин	412	10 мужчин	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на протяжении 21-го дня экспериментального воздействия
21-суточная «сухая» иммерсия с использованием ЦКР в целях профилактики с участием мужчин	126	3 мужчины	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на протяжении 21-го дня экспериментального воздействия
7-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием мужчин	140	10 мужчин	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на протяжении 7-ми суток экспериментального воздействия
3-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием женщин	42	6 женщин	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на протяжении 3-х суток
4-х месячный изоляционный эксперимент «SIRIUS-19»	1440	3 женщин 3 мужчин	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на протяжении 120 суток
14-суточный изоляционный	168	2 женщины 4 мужчин	Ежедневные утренние и вечерние аудиозаписи на

эксперимент «ЭСКИЗ»			протяжении 14 суток
---------------------	--	--	---------------------

В исследованиях принимали участие здоровые добровольцы, мужчины и женщины, в возрасте от 20 до 46 лет. Все испытуемые подписывали информационное согласие на участие в исследовании. Каждый из представленных экспериментов был одобрен Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ ИМБП РАН.

2.2. Предмет исследования. Характер экспериментальных условий.

Предметом исследования являлась произвольная речь (полу-структурированный аудио-отчёт) испытуемых, находящихся под действием различных моделируемых факторов космического полёта.

В целях изучения психофизиологического состояния человека-оператора, также собирались данные о показателях когнитивной работоспособности (сенсомоторные тесты типа «Реакция на движущийся объект» (РДО), тесты на память и математический счёт), самооценочные опросники, психофизиологические тесты.

1. Эксперимент «ЦКР-2018» с участием обследуемых-мужчин

Методика анализа психофизиологического состояния операторов была впервые применена в рамках эксперимента с применением центрифуги короткого радиуса – «ЦКР-2018». В ходе этого исследования фиксировались переговоры между Центром управления и обследуемыми, проходящими вращение при различных угловых ускорениях, что создавало условия для появления различных психофизиологических реакций (Орлов и др., 2017). Длительность вращения составляла 1 час и повторялось три раза в течение недели у каждого обследуемого, при этом каждая новая серия проходила с увеличением перегрузок, достигая 3g на заключительном вращении. Участие в эксперименте принимали 10 мужчин-испытуемых в возрастном диапазоне от 24 до 42 лет.

Основной целью исследования стало выявление и детальное изучение различных аспектов психофизиологического состояния, стресс-реакций и методов преодоления стресса у операторов при воздействии различных режимов угловых ускорений. Для более полного понимания функционального состояния человека использовался акустический анализ речи и дополнительные психометрические методы (методика «Тест цветовых выборов» в модификации Л.Н. Собчик и тест ситуативной тревожности STAI Спилбергера-

Ханина). Запись общения между испытуемым и оператором ЦУПа производилась с помощью диктофона Zoom H1, закреплённого на внутренней стороне конструкции кабины, в которую на время вращения был помещён испытуемый. По просьбе специалистов ЦУПа, испытуемые давали короткие произвольные отчёты о своём самочувствии на всех этапах вращения.

В связи с тем, что ответы обследуемых не были унифицированы, нами были рассмотрены только базовые частотные и амплитудные характеристики акустического сигнала их речи – ЧОТ, громкость, длительность пауз между словами.

Проведенное исследование позволило оценить психофизиологическое напряжение оператора и эффективность его стратегий управления стрессом, а также выявило особенности изменения акустических характеристик речи под воздействием стрессовых факторов. Методика работы с акустическими коррелятами была рекомендована к использованию в других экспериментах для выявления закономерностей изменения акустики речи в условиях, моделирующих факторы космического полёта.

2. Эксперимент по изучению влияния дыхания искусственными газовыми смесями и приёма бетагистина в условиях воздействия шума («Шум-2020»)

В исследовании принимали участие 10 мужчин-добровольцев.

Основным действующим фактором при проведении данного эксперимента являлся белый шум интенсивностью 85 дБ продолжительностью 2 часа. Сопутствующими факторами являлись однократный приём испытуемыми кислородно-аргоновой смеси, карбогена или бетагистин дигидрохлорида.

Испытуемые делали короткую запись на диктофон до, после и во время (2 раза: через 15 минут и через 1 час) воздействия шума. В коротких отчётах они называли своё имя, дату, время записи и описывали своё самочувствие. В процессе записи во время воздействия шум не отключался.

Анализ записей производился после вычитания шума программными методами. Чтобы нивелировать оставшуюся разницу в частотном диапазоне, сравнению подлежали записи, произведённые в одинаковых условиях. Парно сравнивались записи до и после (в отсутствии посторонних шумов), а также во время двух срезов во время воздействия (где шум был стационарен и однотонен).

3. Эксперимент 21-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием мужчин

Условия эксперимента на стенде «сухой» иммерсии в ГНЦ РФ – ИМБП РАН позволяют воссоздавать эффекты адаптации к моделируемой безопорности и микрогравитации, двигательной и сенсорной депривации, а также изоляции от привычного социального окружения.

Основным материалом для исследования в условиях «сухой» иммерсии стали аудиозаписи речи обследуемых испытуемых, записываемые с помощью портативных диктофонов Zoom H1. Участники эксперимента дважды в день (утром и вечером) совершали аудио-отчёты, в которых называли свои фамилию и имя, дату и время записи, озвучивали своё самочувствие и настроение, и давали краткий отчёт о ночном сне или проведённом дне. Подобный формат отчётов частично повторяет ежедневные планировочные конференции (daily planning conferences, DPC), выполняемые космонавтами в начале и в конце рабочего дня для ЦУПа. Для целей акустического анализа речи в первую очередь анализировались отрезки аудиофайла, унифицированные протоколом аудио-отчётов, для минимизации влияния варьирующего содержания (контента) высказываний и его эмоциональной окраски – фрагмент, где обследуемые называли своё имя, дату и время записи.

В целях комплексного изучения функционального состояния обследуемых использовались также психологические методики: опросник POMS для оценки настроения, опросник COPE для анализа стратегий преодоления стресса, методика «Тест цветовых выборов» (тест Люшера) в модификации Л.Н. Собчик, тест STAI Спилбергера для оценки уровня ситуативной тревожности, опросник Кейрси для оценки типов темперамента обследуемых. Перед началом эксперимента и после экспериментального воздействия применялась психофизиологическая методика «Стресс-диагностика» с использованием программно-аппаратного комплекса «БиоМышь», представленная программами «Зеркальный координограф» и «Релаксометр» (Талалаев и др., 1986; NeuroLab, 2008). Раз в трое суток, утром и вечером, испытуемые проходили диагностику батареей когнитивных тестов «Мастер-Тест», включающую тесты на сенсомоторную координацию РДО Координация и РДО Экстраполяция и тест на выполнение простых математических операций (Ушаков и др., 2015; Иванов и др., 2022).

В эксперименте 21-суточной иммерсии без средств профилактики (2018 год) в исследовании принимало участие 10 мужчин-добровольцев в возрасте от 21 года до 42 лет, подписавших информированное согласие на участие в исследовании. Программа эксперимента одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ ИМБП РАН (протокол №483 от 3 августа 2018г.).

Циклограмма исследования представлена в таблице 2.

Таблица 2. Циклограмма исследования в эксперименте с 21-суточной «сухой» иммерсией

Наименование методики	Время выполнения 1 сессии (мин)	Частота проведения	Сутки проведения исследования (СИ-, СИ, СИ+)*	Временная эластичность проведения исследования (+/- сутки от запланированной даты)
До иммерсии				
Стресс-диагностика	30 минут	2 раза	СИ-7, СИ-3	+/- 2 суток
Опросник POMS	15 минут			
Цветовой тест	10 минут			
Шкала тревоги STAI Спилбергера	10 минут			
Опросник Кейрси	15 минут	1 раз	СИ-7	
Опросник COPE	15 минут	1 раз	СИ-7	
Когнитивные тесты «Мастер-Тест»	20 минут	1 раз, утром и вечером	СИ-5	+/- 2 суток
Во время иммерсии				
Опросник POMS	15 минут	1 раз в неделю	СИ5, СИ10, СИ20	+/- 1 сутки
Цветовой тест	10 минут			
Шкала тревоги STAI Спилбергера	10 минут			
Когнитивные тесты «Мастер-Тест»	20 минут	1 раз в 3 дня, утром и вечером	СИ1, СИ4, СИ7, СИ10, СИ13, СИ16, СИ19	+/- 1 сутки
Устные отчёты с аудиозаписью	10 минут	2 в день: утром и вечером	Ежедневно	-
После иммерсии				
Стресс-диагностика	20 минут	1 раз	СИ+5	+/- 2 суток
Опросник POMS	15 минут			
Цветовой тест	10 минут			

Наименование методики	Время выполнения 1 сессии (мин)	Частота проведения	Сутки проведения исследования (СИ-, СИ, СИ+)*	Временная эластичность проведения исследования (+/- сутки от запланированной даты)
Шкала тревоги STAI Спилбергера	10 минут			
Опросник COPE	15 минут			
Когнитивные тесты «Мастер-Тест»	20 минут	1 раз, утром и вечером	СИ+5	+/- 2 сутки

4. Эксперимент 21-суточная «сухая» иммерсия с использованием ЦКР в целях профилактики с участием мужчин

В ходе исследования пилотного 21-суточного эксперимента на стенде «сухой» иммерсии с периодическим использованием центрифуги короткого радиуса (ЦКР) на базе ГНЦ РФ – ИМБП РАН изучалась адаптация человека-оператора к особым условиям, имитирующим факторы космического полёта с применением перегрузок голова-таз в качестве средства профилактики. Это исследование стало продолжением серии эксперимента, начатой в 2018-ом году, – 21-суточной СИ без профилактических мер.

Начиная со вторых суток эксперимента в условиях «сухой» иммерсии и далее раз в трое суток применялось вращение на ЦКР. Продолжительность вращения составляла 1 час, длительность «площадки» составляла 30 минут с максимальной величиной перегрузки в 2 Gz. В пилотном эксперименте приняли участие трое условно здоровых мужчин в возрасте от 33 до 36 лет, подписавших информированное согласие. Программа исследования психофизиологического статуса с применением метода акустического анализа человека-оператора в целом повторяла аналогичную программу в эксперименте 2018 г. без средств профилактики (Лебедева и др., 2019). Аудиозаписи речи испытуемых, записываемые дважды в день (утром до завтрака (и до вращения на ЦКР) и вечером перед сном), стали главным материалом исследования. Аудиозаписи были обработаны с помощью ПО Praat, разработанного для изучения различных параметров, таких как, частота основного тона (ЧОТ), громкость, количество голосовых импульсов, процент пауз, а также процент джиттер- и шиммер-эффектов в голосовом сигнале. В первые сутки адаптации к условиям эксперимента и в дни, когда испытуемые проходили вращение на ЦКР, после аудио-отчёта

проводился комплекс психологических тестов и методик: тест ситуативной тревожности Спилбергера-Ханина и батарея когнитивных и сенсомоторных тестов, включающая задания на память, координацию и экстраполяцию, решение простых математических уравнений.

5. Эксперимент с 7-суточной «сухой» иммерсией без средств профилактики с участием мужчин

В исследовании адаптации к условиям микрогравитации на стенде «сухой» иммерсии ГНЦ РФ – ИМБП РАН воспроизводились эффекты двигательной и сенсорной депривации и изоляции от привычного социального окружения.

Как и в предыдущих экспериментах в рамках изучения адаптации к длительному состоянию безопорности, основным материалом исследования, направленного на изучение функционального состояния, стали аудио-отчёты испытуемых, записываемые с помощью портативных диктофонов Zoom H1. Обследуемые выполняли аудиозапись дважды в день (утром и вечером), в ходе которой озвучивали имя, дату и время, описывали своё физическое самочувствие и настроение, давали краткий отчёт о проведенном дне, выполненных методиках и др. В первую очередь анализировались отрезки речи, унифицированные протоколом аудио-отчётов, для понижения влияния меняющегося контента и эмоциональной окраски высказываний.

Параллельно для исследования функционального и психофизиологического состояния обследуемых проводились следующие методики:

1. «Стресс-диагностика» - оценка устойчивости к стрессу и способности к психофизиологической саморегуляции с помощью методик «Зеркальный координограф» и «Релаксометр», реализованных в АПК «БиоМышь». Первое тестирование занимает 30 минут, все последующие – 20 минут.
2. Опросник COPE К. Карвера для оценки индивидуальных стратегий совладания со стрессом (стресс-копинга) – 15 минут.
3. Опросник Кейрси - методика оценки темперамента на основании четырех биполярных шкал, отображающих содержание восьми психологических факторов темперамента. Время заполнения опросника – 15 минут.
4. Компьютерная методика «СОПР-мониторинг», включающая в себя шкалу тревоги Спилбергера. Время выполнения – 5 минут.
5. Батарея компьютерных когнитивных тестов «Мастер-Тест», включающих в себя РДО (реакция на движущийся объект), тесты оперативной памяти и др. Время выполнения – 10 минут.

6. Диктофонная запись речи (ежедневные утренние и вечерние отчёты обследуемого о своём состоянии, настроении, протекании эксперимента) – 5-10 мин. В дальнейшем проводится анализ акустических (частотных) и содержательных характеристик речи.

7. Эксперимент 3-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием женщин

В 2020-м году в ИМБП РАН был проведён первый в мире эксперимент в рамках исследования на стенде «сухой» иммерсии с участием женщин-добровольцев. Была изучена динамика психофизиологического состояния женщин-операторов во время острого периода адаптации к моделируемым факторам космического полёта.

Изучение индивидуальных психофизиологических характеристик операторов и успешности их адаптации к условиям жизнедеятельности при моделировании острого периода адаптации к неблагоприятным факторам космического полёта проводилось в течение 3-х суток. Был воспроизведён порядок применения методик из предыдущих экспериментов «сухой» иммерсии с участием мужчин: оценка ситуативной тревожности, способности к произвольной саморегуляции, суточной двигательной активности и когнитивной работоспособности, а также непосредственно акустический анализ речи, отражающий динамику адаптации к неблагоприятным факторам микрогравитации (см. Табл.3).

Данные, полученные в наземных исследованиях с участием женщин, позволили оптимизировать рекомендации к режиму труда и отдыха космонавтов в будущих космических миссиях с участием гетерогендерных экипажей. Также были выявлены значимые различия между реакцией на острый период адаптации в условиях микрогравитации у женщин и мужчин в контексте акустических характеристик речи (Ульянкин и др., 2017).

Таблица 3. Циклограмма исследования 3-суточной “сухой” иммерсий с участием женщин:

Наименование методики	Время выполнения 1 сессии (мин)	Частота проведения	Сутки проведения исследования (СИ-, СИ, СИ+)*	Временная эластичность проведения исследования (+/- сутки от запланированной даты)	Объём отбираемой пробы	Временные ограничения, накладываемые на исследование.
ДО ИММЕРСИИ						
«Стресс-диагностика»	30 мин	1 раз в день	СИ-1	+/- 1 суток	-	10:00-13:00
Опросник COPE	10 мин					
Компьютерные тесты	20 мин					
Устные отчёты с аудиозаписью	5 мин					
Опросник Кейрси	10 мин					
ВО ВРЕМЯ ИММЕРСИИ						
Устные отчёты с аудиозаписью	10 мин	2 раза в день	Ежедневно	-	-	Утром до завтрака и вечером после душа
Компьютерные тесты	20 мин	2 раза в день				Утренние сессии: 9:00-12:00 Вечерние сессии: 17:00-19:00
Актиграфия	-	круглосуточно				-
ПОСЛЕ ИММЕРСИИ						
«Стресс-диагностика»	20 мин	1 раз	СИ+2	+/- 1 суток	-	10:00-13:00
Компьютерные тесты	20 мин					
Устные отчёты с аудиозаписью	5 мин					

8. Эксперимент с длительной изоляцией «SIRIUS-19»

В проведённом в гермокамерном комплексе ИМБП 4-х месячном изоляционном эксперименте SIRIUS-19 интенсивность воздействия на физиологические системы обследуемых была минимальна, тем не менее одной из основных задач было воспроизведение психологических факторов длительных космических полётов.

Легенда миссия SIRIUS-19 была построена следующим образом: пилотируемый полёт за пределы низкой околоземной орбиты, перелёт до Луны с последующим облётом для поиска места прилунения, спуск четырёх членов экипажа на поверхность Луны в спускаемом модуле для проведения операций на поверхности (несколько ВКД и управление лунным ровером для подготовки Лунной базы), а затем возвращение на орбитальную станцию, работа на станции и перелёт к Земле. Исследование включало в себя участие 3 мужчин и 3 женщин из России и США в возрасте от 29 до 45 лет. Программа эксперимента была одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ - ИМБП РАН. Для анализа коммуникации экипажа с ЦУП использовались ежедневные утренние и вечерние DPC (планировочные конференции), аналогичные тем, что выполняют космонавты на борту МКС.

Использование программного обеспечения Praat для акустического анализа аудиозаписей позволило оценить различные параметры речевого сигнала, включая частоту основного тона, громкость, количество голосовых импульсов, а также процент джиттер- и шиммер- эффектов в голосе, отражающие вариации в амплитуде и частоте речи. Эти показатели могут быть отражать психофизиологическое напряжение говорящего и изменение его функционального состояния на протяжении всего эксперимента.

9. Эксперимент с 14-суточной изоляцией «ЭСКИЗ»

Эксперимент «ЭСКИЗ» («Эксперимент с краткосрочной изоляцией») продолжительностью 14 суток был проведён на базе научно-экспериментального комплекса ГНЦ РФ – ИМБП РАН в самом маленьком по размеру модуле – экспериментальной установке объёмом 50 м³ и площадью 12 м², в других экспериментах выполнявшем роль корабля высадки. Малый объём позволил реализовать эффект скученности, характерный для лунных миссий ближайшего времени. Изображение основных зон экспериментальной установки ЭУ-50 приведена на рисунке 3. Группу исследования вошли условно здоровые 4 мужчины и 2 женщины (возраст 23-45 лет), не имевшие опыта участия в изоляционных экспериментах.

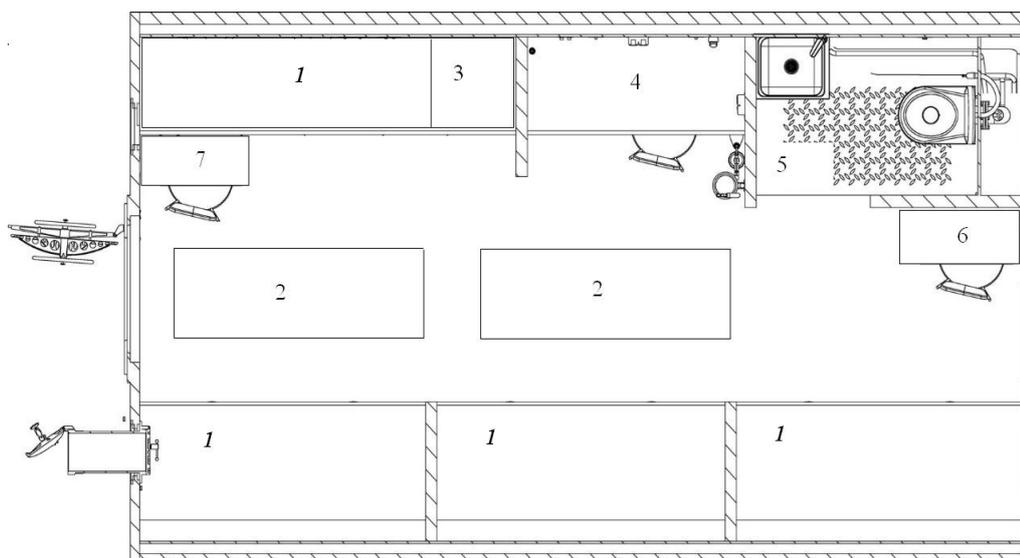


Рисунок 3. Принципиальная схема ЭУ-50. Примечания: 1) стационарные спальные места, 2) временные спальные места, 3) место приготовления пищи, 4) место для забора крови, 5) сан. узел, 6) рабочее место, 7) столик для приёма пищи.

Программа исследования была утверждена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ ИМБП РАН №573 от 1 апреля 2021 г.

Целевым материалом для оценки психофизиологического состояния обследуемых стали аудиозаписи их речи, записанные с помощью портативных диктофонов Zoom H1. Испытуемые записывали ДРС для ЦУПа НЭКа дважды в день (утром и вечером), в которых озвучивали своё фразу приветствия (приветствие, позывной, дата и время), самочувствие, настроение и сообщали о проведенном дне и выполненных методиках.

Полученные записи были проанализированы с использованием специализированного программного обеспечения Praat. Среди исследованных параметров – частота основного тона, громкость речи, количество голосовых импульсов, процент пауз, джиттер и шиммер (вариабельность голоса по частоте и амплитуде).

В течение первых трёх суток и затем каждые двое суток утром (9:00-10:00, через полчаса после утренней ДРС) и вечером (20:00-21:00, за полчаса до вечерней ДРС) участники проходили когнитивные тесты из пакета "Мастер-Тест", включающие задания на память, на сенсомоторную координацию (тесты «Реакция на движущийся объект»: РДО Координация и РДО Экстраполяция) и задание на решение простых математических уравнений (Ушаков и др., 2015; Иванов и др., 2022).

Перед когнитивным исследованием обследуемые выполняли автоматизированный самооценочный опросник STAI Спилбергера для оценки уровня ситуативной тревожности, (Лебедева, Швед, 2022).

2.3. Методы исследования

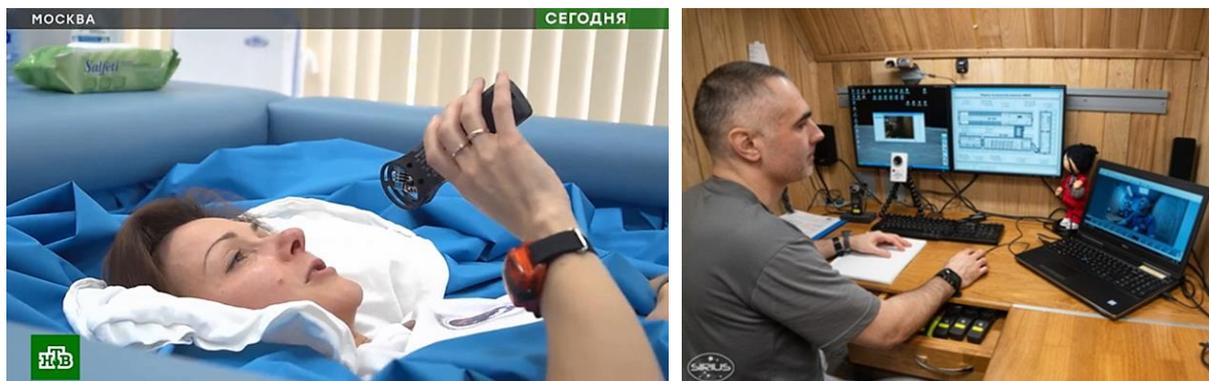
2.3.1. Акустический анализ речи

Основным материалом для анализа стали аудиозаписи речи испытуемых, осуществляемые с помощью портативных диктофонов Zoom H1. H1 записывает WAV-файлы как в 16-битном, так и в 24-битном формате с частотой сэмплирования 44,1, 48 или 96 кГц.

При краткосрочном интенсивном воздействии аудиозапись производилась непосредственно во время воздействия на испытуемого, во время его переговоров с ЦУП. Такой режим звукозаписи использовался в экспериментах ЦКР-2018 и Шум-2020.

При более длительном, но менее интенсивном воздействии аудиозапись произвольной речи производилась дважды в день (как одна из самых ранних и самая поздняя методика), при этом обследуемые говорили «стандартную фразу приветствия» (приветствие, имя и фамилию / позывной, дату и время), и далее озвучивали своё самочувствие, настроение и давали краткий отчёт о выполненных методиках и в целом о проведённом дне. При этом обследуемые держат диктофон в руке на расстоянии 15-20 см, направляя микрофоны в сторону рта (см. Рис. 4) или устанавливают на подставку на столе, расстояние до рта 20-30 см (см. Рис.5). С точки зрения методологии модельного эксперимента, такой формат аудио-отчётов частично (в монологическом, а не диалогическом формате) воспроизводит ежедневные планировочные конференции (DPC), выполняемые космонавтами для ЦУПа. Акустическому анализу подвергались только унифицированные протоколом отрезки речи: начало аудио-отчёта, во время которого испытуемые называют своё имя, указывают дату и время записи. Такой формат позволяет минимизировать варьирующийся контент высказываний и, что немаловажно, снизить возможную эмоциональную окраску последующего отчёта, в котором речь идёт о субъективно значимых событиях дня. Данный режим записи аудиосообщений использовался во всех экспериментах, проведённых на стенде «сухой» иммерсии (21-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики и 21-суточная «сухая» иммерсия + ЦКР с участием мужчин, 7-суточная «сухая» иммерсия, 3-суточная «сухая» иммерсия с

участием женщин), а также в модельных изоляционных экспериментах (14-суточный эксперимент «ЭСКИЗ» и 4-месячный изоляционный эксперимент SIRIUS-19).



Рисунки 4 и 5. Процедура записи аудио-сообщений ДРС в условиях «сухой» иммерсии и в изоляционных экспериментах.

Аудиозаписи анализировались с помощью программного обеспечения, предназначенного для профессиональной научной работы со звукозаписями и позволяющего выявить их основные количественные характеристики (Praat, Audacity и др.), а также с помощью метода экспертных оценок для выделения наиболее информативных отрезков речи. В динамике исследовались такие параметры речевого сигнала как частота основного тона (ЧОТ, средняя и медианная), интенсивность (громкость) речи, количество голосовых импульсов (одновременное звучание двух тонов минимально различающейся частоты, возникающее при неполном смыкании голосовых связках), процент пауз в речи, длительность фраз, шиммер- и джиттер- эффекты (вариабельность голосового сигнала по частоте и амплитуде) (Voersma et al., 2018).

Предложенный метод анализа речи был апробирован на 24 практически здоровых испытуемых, находящихся на своём рабочем месте (студенты, члены дежурных бригад), без воздействия изучаемых в данной работе факторов. Возраст участников апробации составил от 18 до 34 лет. Было проведено по три записи с одним человеком с промежутками в 2-3 часа, в схожих по акустической зашумлённости условиях. Испытуемые называли свои ФИО, дату и время записи.

Надёжность-согласованность методики акустического анализа речи проверялась с помощью уравнения альфа Кронбаха. Параметры оценки различных акустических показателей позволили выявить наиболее надёжные: для ЧОТ показатель альфа Кронбаха составил 0,95, для интенсивности речи – 0,78, для количества голосовых импульсов 0,67, для пауз – 0,72, для джиттер-эффекта – 0,76, для шиммер-эффекта – 0,82.

Таким образом, было установлено, что данная методика может быть использована в модельных экспериментах, воспроизводящих эффекты космического полёта, тем самым подготавливая научную, методологическую и техническую базу для бортовых исследований.

2.3.2. Психологические методы изучения функционального состояния оператора

Для сопоставления количественных данных психофизиологических методик с субъективным ощущением адаптации к моделируемым факторам космического полёта в исследовании использовались психологические методики, такие как опросник настроения POMS, методика «Тест цветовых выборов» в модификации Л.Н. Собчик («тест Люшера»), опросник совладания со стрессом COPE, тест ситуативной тревожности STAI Спилбергера, опросник Кейрси для оценки темперамента (Mendoza et al., 1998; Park et al., 2011; Giddens et al., 2013; Рассказова и др., 2013; Kanas, 2023).

Гипотеза исследования заключалась в возможности сопоставления субъективно выявленных эмоциональных компонент, входящих в понятие психофизиологического состояния человека-оператора, и акустических составляющих голоса, таких как громкость, частота тона, процент пауз и др.

Для оценки психоэмоционального состояния применялся опросник POMS (Profile of Mood States) (McNair et al., 1971). POMS был разработан McNair et al. в 1971 году и сейчас является одним из самых популярных методик для оценки эмоционального статуса обследуемых. Опросник содержит 65 вопросов с 5 вариантами ответа. Данный опросник позволяет более детально рассмотреть психоэмоциональное состояние человека, производя оценку по таким шкалам как гнев, депрессия, растерянность, усталость, беспокойство, бодрость. Испытуемый описывает своё текущее самочувствие с помощью таблицы, состоящей из 65 прилагательных – характеристик эмоционального состояния, отмечая цифру, которая соответствует степени выраженности данной характеристики.

Пункты опросника группируются в 6 основных шкал, отражающих определенные психоэмоциональные состояния: «Напряжение или тревога», «Гнев или Враждебность», «Бодрость или Активность», «Усталость или Инертность», «Депрессия или Уныние», «Замешательство или Недоумение», а также интегральный показатель «Общее изменение настроения».

Для каждого показателя вычисляется сумма баллов, полученных в результате оценки относящихся к ней пунктов опросника. Один балл равен одной условной единице (у.е.).

Следует отметить некоторую ограниченность в объективности анализа функционального и психофизиологического состояния человека-оператора посредством самооценочных опросников. Психологическое тестирование на рабочем месте часто воспринимается человеком как экспертная оценка, способная повлиять на отношение к ним и их дальнейшую карьеру, что приводит к возникновению искажений в ответах на вопросы. К таким искажениям относятся как намеренные, сознательные искажения в виде социально-желательных ответов, так и ненамеренные искажения (Матвеев, Самохвалова, 2017). Культурные особенности российских и американских участников космических полётов выражались в значительно различавшихся результатах, демонстрируемых ими по опросным методикам (Kanas, 2023). Это указывает на ограничение применения самооценочных опросников в качестве единственного способа выяснить самочувствие обследуемых – необходимо сопровождать и сравнивать их с объективными методами измерения психофизиологического состояния человека.

Метод цветowych выборов Л.Н. Собчик, базирующийся на классическом 8-цветовом тесте Люшера, позволяет оценить, в числе прочих параметров, уровень тревоги обследуемых, их реакцию на стрессовые воздействия (Собчик, 2001). От испытуемого требуется выбрать из восьми цветов тот, который ему больше всего нравится в данный момент времени. Затем выбранный цвет исчезает, и испытуемый повторяет процедуру. Поскольку выбор цвета основан на бессознательных процессах, он более надёжно указывает на психологическое состояние человека, а не на то, каким он себя представляет или каким бы он хотел быть, как это часто случается при использовании опросных методов.

В исследовании тревожности с помощью теста STAI Спилбергера-Ханина изучалась ситуативная тревожность, характеризующая состояние субъекта в конкретный момент времени. Субъективное переживание человеком беспокойства, напряжения и нервозности возникает как эмоциональная реакция на экстремальную или стрессовую ситуацию, может быть разным по интенсивности и динамичным во времени. Обследуемым предлагалось оценить 20 утверждений по степени согласия с ними в данный момент времени. Результаты данного теста могут отражать готовность к выполнению когнитивной деятельности, а сильные тревожные переживания могут негативно сказаться на эффективности работы человека-оператора, как было показано в работах Ч.Д. Спилбергера (Spielberger, 1972).

Преимуществом выбранных для исследования методик является способ их предъявления. Обследуемые выполняют компьютерное тестирование, в процессе которого нет возможности видеть все вопросы одновременно и скопировать предыдущие ответы. Таким образом, получаемые результаты являются более информативными.

2.3.3. Когнитивное тестирование

С целью оценки когнитивной работоспособности испытуемые проходили компьютерное тестирование, включающую комплекс когнитивных задач, реализованных с помощью ПО «Мастер-Тест» (МТ) и содержащую тесты на зрительно-моторную координацию и экстраполяцию (в каждом из которых оценивалась точность и лабильность), зрительную память и тест на выполнение простых математических операций (скорость и стабильность счётного мышления) (Ушаков и др., 2015; Иванов и др., 2022).

«Мастер-Тест» представляет собой батарею когнитивных и сенсомоторных тестов, отвечающим задачам оценки и контроля за функциональным состоянием оператора. Комплексная методика данного ПО представляет собой комбинацию небольших (длительностью в 3-5 минут) тестов и заданий, позволяющим в динамике оценить различные аспекты психофизиологического состояния. Задания в рамках «Мастер-Теста» направлены на исследование эффективности различных высших психических функций и раскрывая скрытые индивидуальные психологические стратегии. Тестовые задания взаимно дополняют друг друга, а получаемые на их основе интегральные показатели обеспечивают информативность и психологическую значимость результатов. При регулярном использовании результаты тестирования отражают особенности текущего состояния человека по широкому спектру объективных показателей и позволяют оценивать их динамику, особенности протекания психических процессов и их регуляции.

Реакция на движущийся объект (РДО) – это методика, которая не только оценивает сенсомоторную реакцию, но также дает представление о балансе процессов возбуждения и торможения в нервной системе (Большаков и соавт., 2002; Смирнова и соавт., 2005). Тестирование РДО включает в себя две последовательные задачи: РДО Координация и РДО Экстраполяция. Задача обследуемого при выполнении теста РДО Координация заключается в своевременном нажатии на клавишу остановки при пересечении мишени объектом, движущемся по круговой траектории переменным временем вращения от 2 до 4 секунд (кратность выполнения – 25 предъявлений за сеанс). РДО Экстраполяция аналогичен предыдущему тесту по выполнению, однако отличие состоит в том, что в вращающийся объект исчезает в положении «15 минут до полудня». Испытуемый должен предсказать появление движущегося объекта над мишенью и в нужный момент нажать клавишу.

Анализируемые показатели:

- Ошибка точности - сумма отклонений от полного совпадения с целью в градусах. Показатель отражает эффективность сенсомоторной реакции по критериям скорости и точности реагирования, динамический глазомер.
- Лабильность – косвенно отражает баланс основных нервных процессов (возбуждение и торможение).

Показатели измеряются в условных единицах (у.е.).

Тест «Чёт-нечет» - методика оценки когнитивных функций во время математического счёта (решение простых математических уравнений / простых математических операций). Обследуемому необходимо сложить два простых числа (0-9), показываемых на экране компьютера, и определить, чётной или нечётной является их сумма. В зависимости от этого обследуемому предстоит нажать клавишу «лево» или «право».

Анализируемые показатели:

- Ошибка вычисления – неправильное нажатие клавиши «лево» или «право» (нажатие не соответствует правильному ответу).
- Время простых математических операций – время, требуемое для принятия решения – от начала демонстрации на экране чисел до моторного отклика в виде нажатия на клавишу. Измеряется в миллисекундах (мс).

Целью использования анализа когнитивной работоспособности была проверка эффективности метода оценки и прогнозирования надежности деятельности космонавта по особенностям акустического сигнала его речи.

2.3.4. Психофизиологические методики и физиологические показатели

Представленные в данном исследовании способы стресс-диагностики включают в себя психофизиологическое тестирование на базе программно-аппаратного комплекса «БиоМышь»: «Зеркальный координограф» и «Релаксометр» (Талалаев и др., 1986; NeuroLab, 2008). Во время выполнения методик при помощи датчиков, закреплённых на не-ведущей руке, идёт непрерывное количественное измерение двух основных психофизиологических показателей оператора: уровня электрокожного сопротивления (ЭКС) и скорости пульса.

Фазическая (быстрая) составляющая электрокожного сопротивления (ЭКС) называется кожно-гальваническим рефлексом (КГР). Это сложный интегративный

показатель деятельности коры головного мозга, отражающий психофизиологическое и эмоциональное состояние человека. Для измерения КГР используются датчики в виде двух металлических электродов: один из них размещается на указательном пальце, другой – на безымянном. Интерпретация полученных значений может осложняться индивидуальными особенностями испытуемых и степенью выраженности из КГР, а также возникновением артефактов во время тестирования (напряжённости, глубокого дыхания, кашля или чихания и проч.).

Скорость пульса алгоритмы «БиоМыши» измеряют с помощью фотоплетизмограммы (ФПГ) — оценки во времени величины, пропорциональной кровенаполнению периферических сосудов человека. Для измерения ФПГ используется два оптических датчика с инфракрасным излучателем и фотоприемником – светодиод и фотодиод. Инфракрасное излучение от источника, отражаясь от кровяных частиц, регистрируется фотоприемником, создавая в нём ток, пропорциональный потоку отраженного излучения. Ток подается на преобразователь «ток-напряжение», с которого снимается напряжение и через фильтр и усилитель подается на АЦП, где регистрируется системой. В системе «БиоМыши» окно фотоприемника располагается рядом с одним из электродов для оценки КРГ и также прижимается к подушечке пальца. Форма сигнала ФПГ зависит от состояния сердечно-сосудистой системы, но имеет ряд характерных свойств, облегчающих её интерпретацию.

Во время методики «Зеркальный координограф» испытуемый выполняет задание на сенсомоторную координацию: ему необходимо, используя компьютерную мышь, максимально быстро пройти криволинейный лабиринт на экране монитора, не касаясь его краёв. Задача осложняется зеркальным отображением действий пользователя в горизонтальной плоскости: если он двигает мышь вправо, курсор идёт влево, и наоборот. Если испытуемый ошибается и задевает края лабиринта, ошибка сопровождается пронзительным звуком динамика (стресс-фактор). До и после прохождения лабиринта программой регистрируются и анализируются уровень ЭКС и средняя ЧСС.

При выполнении «Релаксометра» испытуемому даётся задание в течение 5 минут расслабиться настолько, насколько он сможет. Методика «Релаксометр» опирается на принцип биологической обратной связи. Перед испытуемым ставится задача отслеживать своё эмоциональное состояние и постараться максимально расслабиться в течение 5-ти минут. В это время на экране монитора ему демонстрируется шкала со стрелкой, метафорически отображающая успешность его расслабления. Данное изображение формируется с использованием специальной аппаратуры для регистрации КГР, усиления и «обратного возврата» человеку наглядной информации о состоянии физиологических

процессов его организма. В конце теста программа высчитывает уровень лабильности КГР. Сравнивая эти показатели до и после эксперимента, можно определить изменения, отражающиеся на уровне КРГ, в лабильности нервной системы и возможности человека-оператора к саморегуляции.

Помимо представленных экспериментальных методов нами использовались данные ежедневного медицинского контроля, проходящего утром и вечером (данные предоставлены Томиловской Е.С. и Ниязовым А.Р.). В частности, для целей исследования были использованы ЧСС (частота сердечных сокращений), АД (систолическое и диастолическое) и температура тела.

2.3.5. Статистические методы

Полученные нами данные были проверены на нормальность распределения в соответствии с критерием Шапиро-Уилка [Лемешко, 2012, 2014; ГОСТ Р ИСО 5479-2002].

Надёжность-согласованность методики акустического анализа речи проверялась с помощью коэффициента альфа Кронбаха.

В соответствии с задачей проведения количественного и статистического анализа акустических характеристик речи, а также показателей когнитивной работоспособности, эмоционального и физиологического состояния человека-оператора, находящегося под воздействием моделируемых факторов космического полёта, и характером исходных данных, применявшиеся статистические методы включали в себя корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона), факторный анализ методом выделения главных компонент (метод вращения Варимакс с нормализацией Кайзера) и сравнение двух независимых выборок (коэффициент корреляции Манна-Уитни). Для определения достоверности различий применялись следующие критерии:

- для парных выборок – критерий Пирсона;
- для независимых выборок – критерий Манна-Уитни;
- непараметрический дисперсионный анализ по Фридману.

Различия считались значимыми при вероятности ошибки первого рода меньше 5% ($p < 0,05$).

В соответствии с задачей поиска и определения акустических паттернов с помощью уравнения множественной регрессии была построена модель с несколькими факторами

(акустическими показателями), и было определено влияние каждого из них, а также их совокупное воздействие на показатели когнитивной и сенсомоторной деятельности.

Далее была проведена оценка значимости уравнений регрессии для каждой построенной модели с помощью дисперсионного анализа (критерий Фишера).

Статистический анализ выполнялся с помощью программного обеспечения MS Excel и SPSS 18.0.

В соответствии с биоэтическими требованиями, все представленные данные анонимны, обследуемым присвоены идентификационные номера.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Акустический анализ речи в условиях интенсивных воздействий и помех

Были проведены исследования в экспериментах с кратковременным интенсивным воздействием на обследуемых во время регистрации акустических показателей, а также с шумовым загрязнением акустического фона: ЦКР-2018 и «Шум-2020».

Первоначально предложенная методика акустического анализа речи была применена в рамках эксперимента **ЦКР-2018 с применением центрифуги короткого радиуса (ЦКР)**. Во время вращения при различных угловых ускорениях проводилась запись разговоров между испытуемым и Центром управления. Необходимо отметить, что в ходе данного эксперимента на испытуемых в момент записи речи оказывались значительные физические нагрузки, при этом вибрация центрифуги усложняла аудиозапись большим уровнем фоновых шумов, находящихся в спектре человеческого голоса.

Целью исследования было выявление и изучение некоторых аспектов психофизиологического состояния, стресс-реакций и способов совладания со стрессом человека-оператора под воздействием различных режимов угловых ускорений при помощи анализа изменений акустических параметров речи. Перед началом воздействия обследуемые выполняли психологическое тестирование с использованием методики «Тест цветových выборов» и теста ситуативной тревожности Спилбергера.

Результаты исследования продемонстрировали особенность акустических характеристиках речи под воздействием стрессовых факторов и позволили оценить уровень психофизиологического напряжения у оператора и эффективность его стратегий совладания со стрессом. Было выявлено, что громкость голоса и длительность пауз между словами во время общения с Центром управления зависели от интенсивности нагрузки и активации обследуемого, что, предположительно, связано с процессами вработываемости, утомления и субкомпенсации. Изменения в средней и медианной частоте основного тона голоса наблюдались в начале каждого периода ускорения у 5 испытуемых, снижение – у 2 испытуемых, а у одного не было явной разницы между высокими и низкими тональностями. Эти изменения, вероятно, отражают субъективные ощущения обследуемых и их способы совладания со стрессом (Смирнов и др., 2007; Щербатых, 2011). Показатели громкости и длительности пауз во время предварительных записей свидетельствовали о степени активации испытуемых до начала вращения, что в целом соотносится с данными проводившихся перед началом каждого вращения «Теста цветových выборов» (8-цветовой

тест Люшера) и теста ситуативной тревожности Спилбергера, отражающими актуальную степень активации регуляторных систем (в т.ч. состояние напряжённости и тревожности) оператора. Уровень громкости голоса на уровне тенденций имел обратную связь с субъективно воспринимаемым утомлением и прямую - с субъективной успешностью пройденного испытания.

Следующее исследование возможностей акустического анализа речи проводилось в рамках эксперимента «Шум-2020» («Изучение влияния дыхания искусственными газовыми смесями и приёма бетагистина в условиях воздействия шума»). Данное исследование позволило выделить наиболее сохранные и информативные показатели в спектре регистрируемой в условиях повышенной зашумлённости человеческой речи. Ими оказались процент пауз в речи, громкость, шиммер и джиттер. Измерение ЧОТ можно считать дополнительным в связи с большим влиянием на него «вычитания» стационарного шума, которое также «урезает» спектр анализируемых частот.

Результаты проведённого исследования позволяют оценить динамику изменения акустических характеристик речи у обследуемых на разных этапах шумового воздействия (см. Рис. 6 и 7). Записи до начала и после окончания воздействия значительно отличались от записей, сделанных в условиях интенсивного шума: во время двухчасовой экспозиции отмечалось повышение громкости и значительное возрастание процента пауз ($p < 0,05$), а также значительное снижение процента джиттер- и шиммер-эффекта ($p < 0,05$).

Исследование также позволило выявить разницу в профилактическом воздействии различных препаратов с протекторным свойством. При применении препаратов бетасерк и аргон отмечались ярко выраженные периоды адаптации к шумовому воздействию, отличные от записей, сделанных до и после него: во время пребывания в зашумлённых условиях у обследуемых отмечалось большее число пауз в речи, шиммер-эффект в голосе вначале значительно снижался ($p < 0,05$), а затем незначительно повышался – также как и громкость. При применении препаратов аргона и гелия процент пауз в начале шумового воздействия, напротив, снижался (см. Рис. 7).

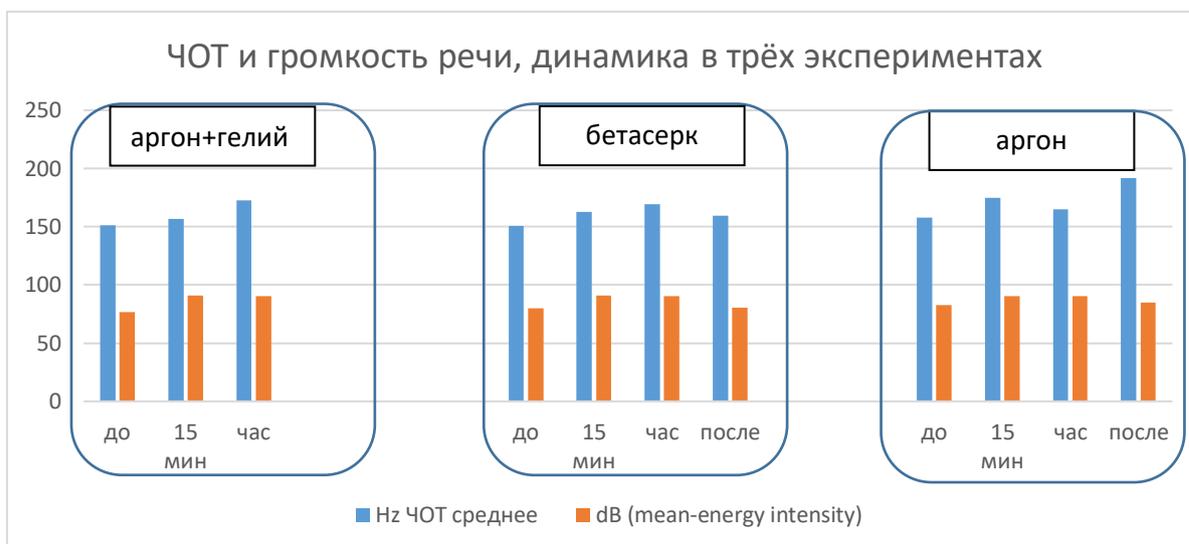


Рис. 6. Динамика изменения ЧОТ и громкости речи при применении препаратов с протекторным действием: аргон+гелий, бетасерк, аргон (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

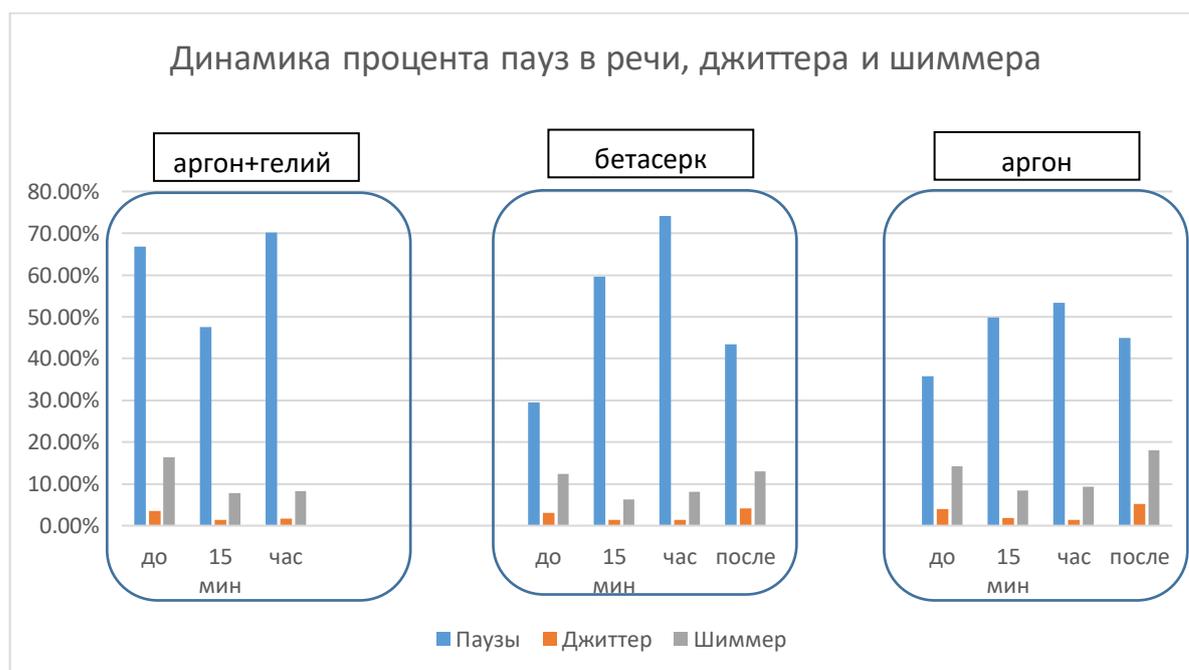


Рис. 7. Динамика изменения процента пауз в речи, джиттер- и шиммер- эффекта при применении препаратов с протекторным действием: аргон+гелий, бетасерк, аргон (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

Таким образом, методика исследования акустических характеристик речи показала свою применимость в том числе в условиях, осложняющих регистрацию и анализ голосового сигнала, включая воздействие на обследуемых угловых ускорений и других факторов на фоне акустических помех.

3.2. Влияние значимых периодов адаптации к экспериментальным условиям на акустические характеристики речи

В данном разделе представлены результаты исследований, проведённых в наземных экспериментах, моделирующих основные факторы космического полёта: физические факторы, представленные невесомостью (модель «сухой» иммерсии), и социально-психологические факторы, представленные изоляцией, монотонией, однообразием социальных контактов и скученностью, обеднением сенсорной стимуляции (изоляция эксперименты). Одной из основных задач данных исследований, более длительных в сравнении с ранее представленными экспериментами с интенсивными воздействиями, было установление возможности выявления периодов адаптации к различным комплексам факторов космического полёта с помощью анализа акустических характеристик речи обследуемых.

В данном разделе будут представлены количественные данные, описывающие изменение акустических характеристик речи во времени, а также данные психологических и психофизиологических методик, проводившийся в близкие с аудиозаписью периоды.

3.2.1. Эксперименты с воздействием моделируемой невесомости

Проведённые эксперименты с использованием модели «сухой» иммерсии, различались по длительности (от 3 до 21 сут), половой принадлежности обследуемых, использованию средств профилактики (Козловская, 2008).

3.2.1.1. Эксперимент с 21-суточной «сухой» иммерсией без средств профилактики с участием мужчин

В эксперименте с 21-суточной «сухой» иммерсией без средств профилактики с участием мужчин у подавляющего большинства испытуемых, несмотря на очевидные индивидуальные особенности и влияние естественных циркадных биоритмов, выявлены общие закономерности изменения характеристик речи, связанные с адаптацией к условиям иммерсионного эксперимента, имитирующего состояние безопорности. Особым интересом отличаются следующие этапы эксперимента: с 1 по 5 сутки (период адаптации к новым экспериментальным условиям), с 8 по 10 сутки, с 14 по 16 сутки и завершающий период воздействия.

В начале эксперимента, в течение первых 1-2 суток, у испытуемых отмечалось резкое увеличение частоты основного тона речи и существенно возрастало количество голосовых импульсов (одновременное произнесение двух тонов с незначительно различающимися частотами, возникающее при неполном закрытии голосовых связок, что обычно свидетельствует о степени усталости) (см. Рис. 8). В это же время обследуемые, заполняя самооценочный опросник POMS, отмечали у себя значительное увеличение депрессивного состояния, усталости и тревожности, в то время как доброжелательность и активность у них снижались. Эти данные коррелируют с результатами теста Спилбергера и «Теста цветочных выборов»: в это время у обследуемых было выявлено существенное повышение уровня тревожности и фрустрации. Можно сделать вывод о том, что в указанный период времени обследуемые испытывали значительную психофизиологическую напряжённость – проявления дискомфортных физиологических реакций и болезненной симптоматики, связанных с адаптацией к воздействию микрогравитации.



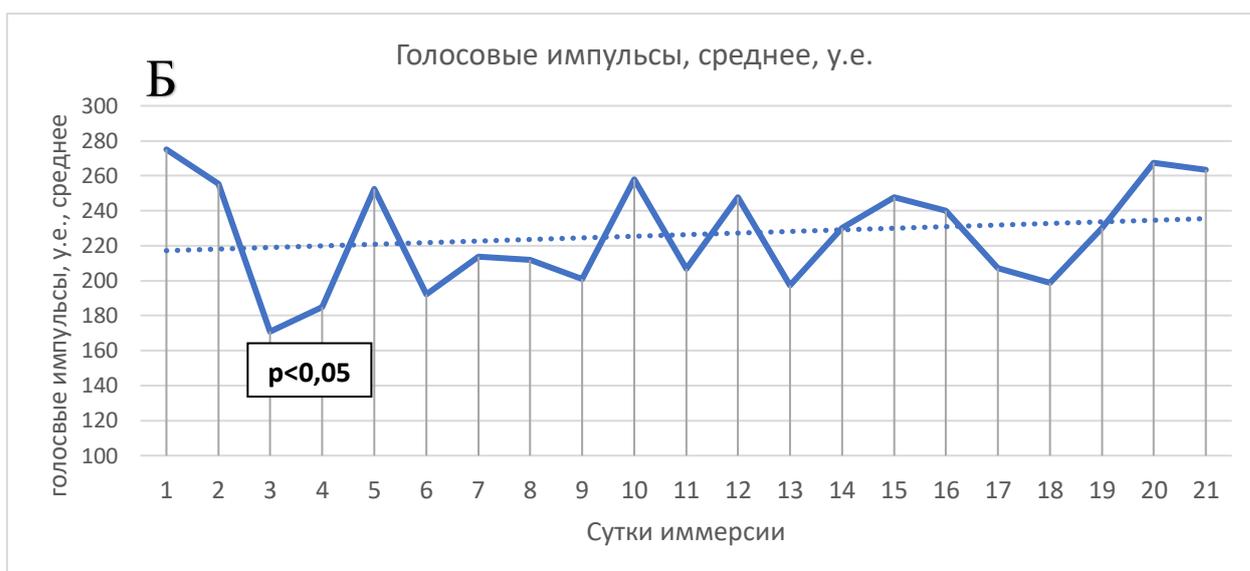


Рисунок 8 (А и Б). Динамика частоты основного тона (ЧОТ) и количества голосовых импульсов в речи обследуемых в ходе 21-суточной «сухой иммерсии» (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

После 3-4 суток (в зависимости от индивидуальных особенностей обследуемых) наблюдается снижение ЧОТ до нормальных значений, уменьшение шиммер-эффекта и количества голосовых импульсов, а также выравнивание громкости и уменьшение пауз в речи – в целом эти изменения указывают на адаптацию к условиям моделированной безопорности и двигательной депривации. Однако начиная с 5-х суток возникает периодическое повышение количества биений и шиммер-эффекта, особенно заметное в такие временные отрезки как 5-е, 9-10-е и 14-16-е сутки. Необходимо отметить последний из этих отрезков эксперимента, в котором помимо обозначенных акустических эффектов обнаруживаются также скачки ЧОТ речи и увеличивается процент пауз в речи (см. рис. 8, 10) – в это время обследуемые во время аудио-отчётов сообщали о возникновении головных болей и заложенности пазух, прерывистом сне и плохом самочувствии.

На протяжении всего экспериментального воздействия была замечена циркадная вариабельность некоторых акустических параметров в утренних и вечерних аудиозаписях: увеличение разницы между процентом пауз и шиммер-эффектом. Утром, как правило, количество пауз в речи было большим, а шиммер-эффект меньшим, вечером – наоборот. (см. Рис.10). К исходным значениям индивидуальной нормы данная разница между параметрами речевого сигнала пришла только к 20-м суткам эксперимента, что, вероятнее всего, связано с возросшей тревожностью (по данным методик STAI и 8-цветового теста Люшера) непосредственно перед окончанием иммерсионного воздействия.

Ближе к концу эксперимента испытуемые в среднем проявляли невысокий уровень ситуативной тревожности и фрустрации по сравнению с началом эксперимента. Самооценочный опросник настроения POMS показывал возросшую активность, дружелюбие и растерянность, при том, что повышение частоты основного тона и увеличение количества голосовых импульсов вероятнее всего было знаком фоновой усталости и напряжения, вызванными длительностью экспериментального воздействия.

Результаты теста ситуативной тревожности STAI демонстрировали пиковые значения в начале иммерсионного воздействия (ближайшая точка пробы от начала воздействия – 5-е сутки), и далее происходило понижение тревожности до уровня фоновых значений с выходом на плато в период с 10-х по 20-е сутки эксперимента. В последствии тревожность опускалась ещё ниже – основная часть эксперимента была завершена (см. рис. 9). Эти результаты соотносятся показателями возможности произвольного расслабления, измеряемой с помощью методики «Релаксометр». Электрокожное сопротивление (его абсолютные и относительные показатели) значительно снизилось после завершения эксперимента по сравнению с измерениями в фоновых точках, что могло быть связано с изменениями в нейровегетативной регуляции (Изард, 1999; Сидоров, 2013).



Рисунок 9. Усреднённый показатель тревожности по STAI до, во время и после «сухой» иммерсии (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

Схожая динамика наблюдалась в результатах опросника «Профиль настроений» (см. табл. 4). В частности, в начале иммерсионного воздействия наблюдалось снижение

показателей по шкалам «активность» и «дружелюбие» и существенное повышение – по шкалам «депрессия», «усталость» и «тревожность».

Таблица 4. Усредненные показатели обследуемых по шкалам POMS до, во время и после 21-суточной «сухой» иммерсии (значения указаны в среднем по обследуемым, n = 10)

	фон 1	фон 2	5 сут	10 сут	20 сут	послед- действ.
враждебность	2,20	1,80	2,91	1,18	2,00	2,38
депрессия	4,20	2,90	7,45	3,45	3,09	5,50
усталость	3,80	5,90	9,55	2,64	2,27	4,63
активность	18,40	14,70	12,18	16,82	17,73	16,00
дружелюбие	17,20	17,10	14,55	17,91	17,73	18,38
тревожность	3,70	4,50	6,55	2,09	3,45	3,13
растерянность	4,10	5,30	5,91	3,09	3,73	3,00

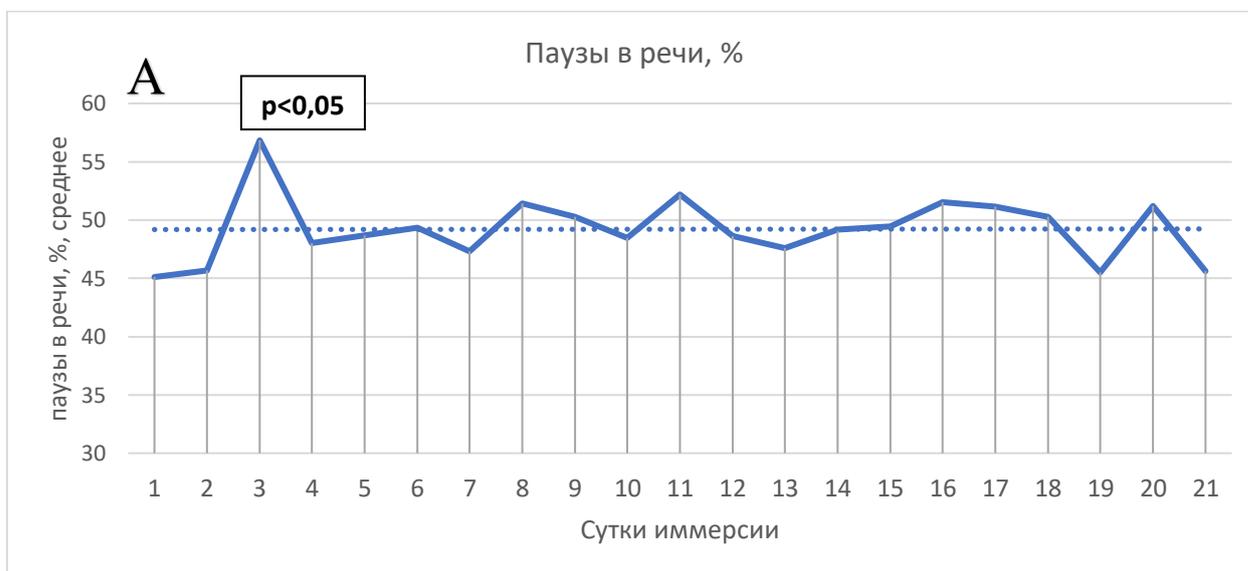




Рисунок 10 (А и Б). Динамика акустических характеристик речи (процент пауз (рис. А) и выраженности шиммер-эффекта (рис.Б) в ходе эксперимента с «сухой» иммерсией (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

Проводимые раз в трое суток компьютеризированные когнитивные тесты продемонстрировали динамику отдельных когнитивных и сенсомоторных показателей в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии, что отражало изменения функционального состояния испытуемых.

В первые точки исследования, на первые и четвертые сутки иммерсионного воздействия, испытуемые совершали больше всего ошибочных попаданий и демонстрировали повышенную лабильность в сенсомоторных тестах (см. Рис. 11 и 12). Задания, требующие математического счёта, также вызвали у обследуемых больше затруднений: это выражалось в большем количестве ошибок в 1-е сутки и более медленном выполнении задания в первые срезы исследования (см. рис. 13 и 14).

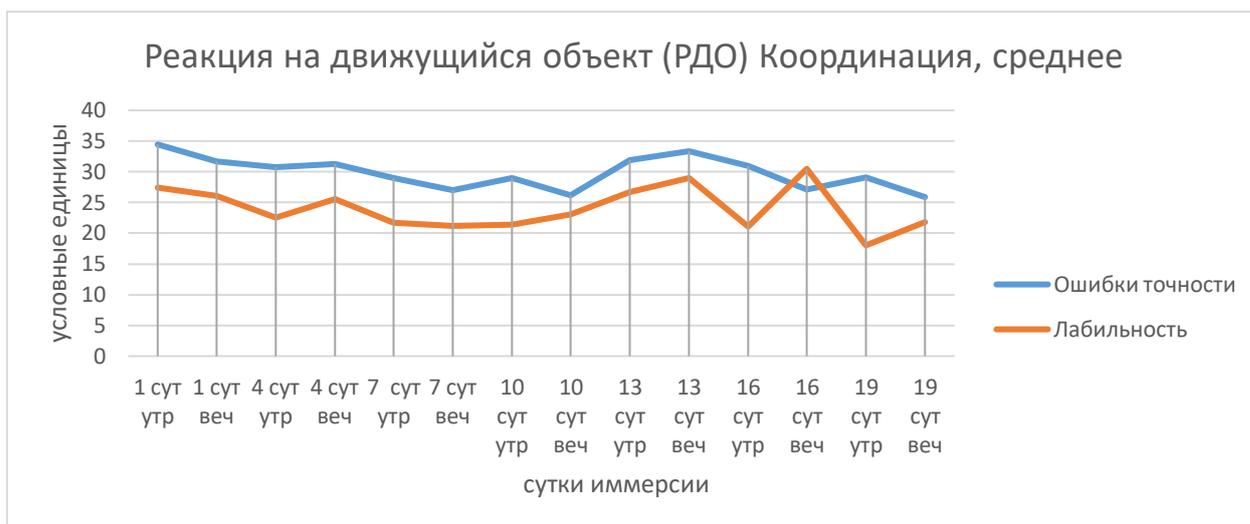


Рисунок 11. Данные по РДО-координация: ошибки точности и лабильность сенсомоторного ответа в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).



Рисунок 12. Данные по РДО-экстраполяция: ошибки точности и лабильность при антиципации воздействия в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии (значения указаны в среднем по обследуемым, $n = 10$).

Начиная с 4-х-7-х суток показатели когнитивной работоспособности выходили на плато – на уровне тенденций отмечалось значительное понижение количество ошибок при математических вычислениях, а также уменьшение количества ошибочных попаданий и снижение лабильности в заданиях на сенсомоторную координацию.

Тем не менее, в период с 13-х по 16-е сутки испытуемые демонстрировали увеличение лабильности при выполнении сенсомоторных тестов, отмечалось резкое

повышение ошибок точности. Следует отметить, что пик ошибочных попаданий в сенсомоторном тесте РДО отмечался раньше пика точности экстраполяции – на вечер 13-х суток, после чего данный показатель начинал плавно снижаться. Пик точности экстраполяции приходился на утро 16-х суток, после чего отмечалось падение этого показателя. В то же время также снижалась лабильность. Представляется интересным тенденция к улучшению координационного навыка обследуемых при одновременном ухудшении (проявлении большей лабильности) навыка к антиципации – способности предугадывать появление объекта до его непосредственного восприятия. В этот временной период отмечалось также увеличение количества ошибок при математическом счёте в утренних точках тестирования, и уменьшение – в вечерних точках (см. рис. 13).

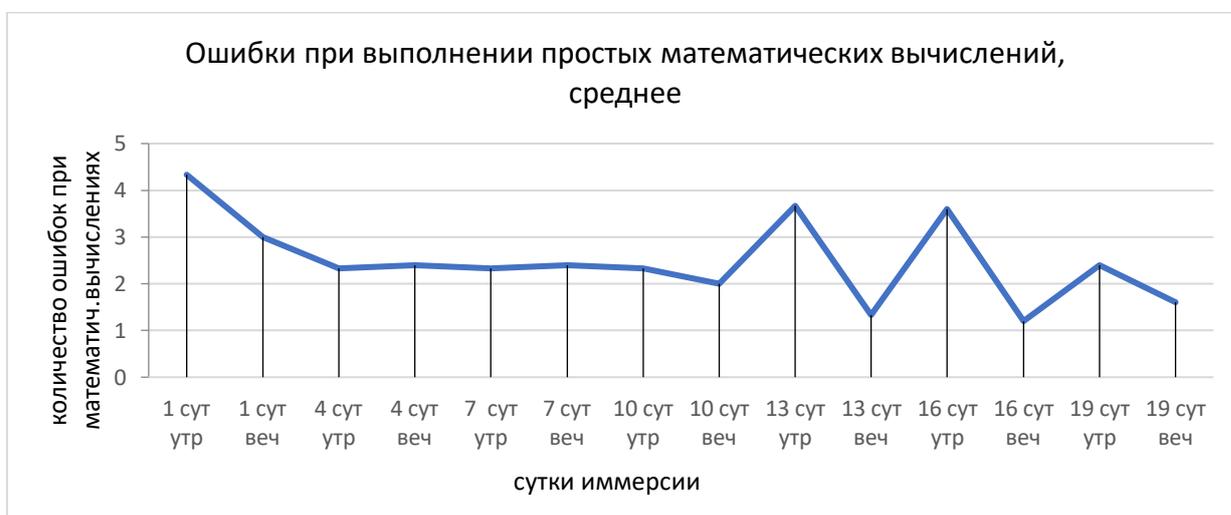


Рисунок 13. Количество ошибок при выполнении простых математических операций в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии.

3.2.1.2. Эксперимент 21-суточная «сухая» иммерсия с участием мужчин с использованием ЦКР в целях профилактики

Как в предыдущей серии эксперимента на базе «сухой» иммерсии, у испытуемых отмечались общие закономерности динамики параметров акустики речи, несмотря на выраженные индивидуальные особенности речеобразования. Далее рассмотрим следующие периоды адаптации к условиям иммерсионного воздействия: 1 и 2 сутки (начало острой адаптации вечером первого дня и её прерывание в связи с воздействием вращения на ЦКР во второй день), вечер 7 суток, а также период с 11 по 13 сутки.

Особый интерес для сравнения с предыдущим экспериментом представляют первые двое суток: в эксперименте с применением ЦКР на 2 сутки наблюдалось снижение ЧОТ речи обследуемых, в то время как в эксперименте без применения профилактических мер в виде вращений в аналогичный период времени данный акустический показатель повышался (см. Рис.13). Этот же эффект отмечался и в других исследованиях: так, у испытуемых в эксперименте ЦКР-2018 сразу после относительно короткого, но физически напряжённого воздействия происходило понижение частоты основного тона речи (Лебедева и др., 2019). Данный эксперимент показал возможность фиксации эффектов, вызванных вращением на ЦКР, в более отдалённой перспективе: они регистрировались в вечерних аудиозаписях в сутки, когда обследуемые в утренние часы проходили вращение. На протяжении 5-ти первых суток анализ акустических показателей речи обследуемых продолжал показывать эффекты адаптации к новым воздействиям. В некоторые из этих дней они пропускали записи (как правило, на 4-е сутки), также у них снижалось количество пауз в речи и резко менялось количество голосовых импульсов. Можно сделать вывод, что применение ускорений на ЦКР на 2-е сутки эксперимента в условиях иммерсии значительно смягчило острый период адаптации к эффектам безопорности и микрогравитации, однако также само по себе оказало стрессовое воздействие на испытуемых.

Седьмые сутки оказались напряжёнными для всех участников эксперимента: частота основного тона значительно повышалась, возросло количество голосовых импульсов вместе с увеличением процента пауз в речи (см. рис. 14, 15, 16).

Повышение напряжённости отмечалось в период с 11 по 13-е сутки – он начинался с резкого повышения громкости речи у обследуемых и продолжался повышением ЧОТ, увеличением количества голосовых импульсов, уменьшением шиммер-эффекта (см. рис. 15 и 16).

К концу эксперимента (18-21 сутки), несмотря на относительно нормальные уровни частоты основного тона и громкости голоса, у обследуемых наблюдалось увеличение количества голосовых импульсов и уменьшение процента пауз в речи. Это могло быть связано с предчувствием завершения экспериментального воздействия у испытуемых, и началом опережающей реадаптации.

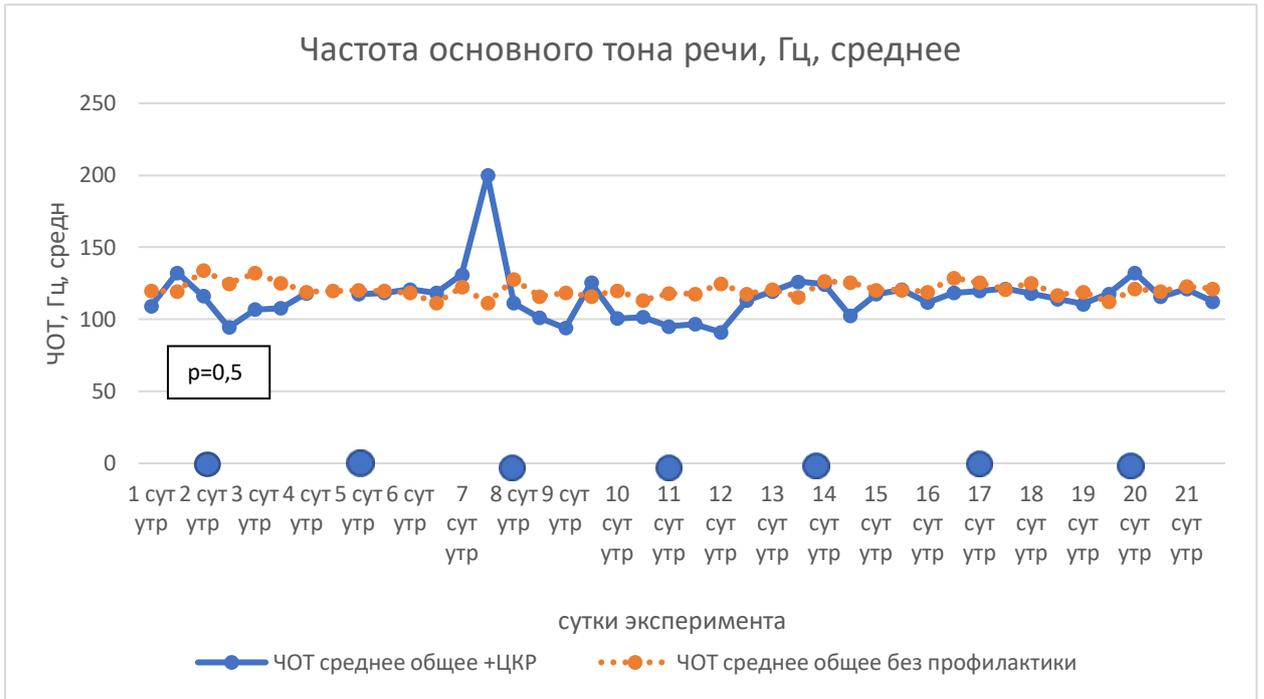


Рисунок 14. Сравнение динамики частоты основного тона (ЧОТ) речи обследуемых в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии с применением ЦКР (дни, когда применялось вращение на центрифуге, отмечены кружками) и без профилактики.

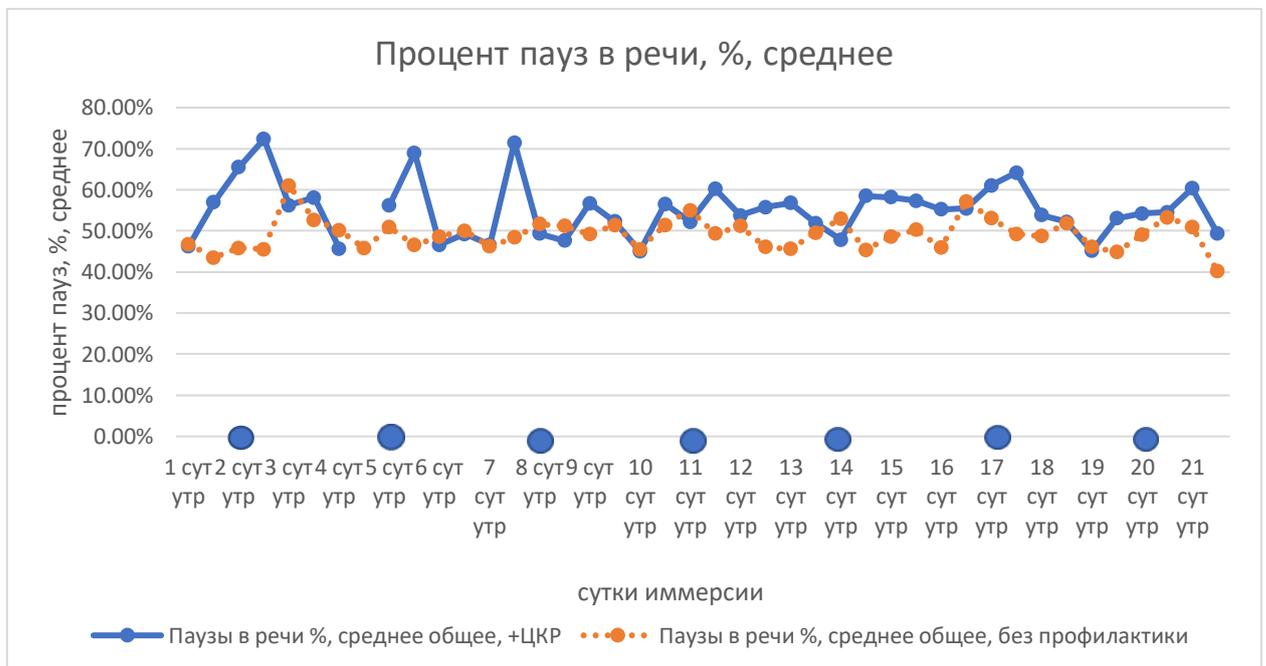


Рисунок 15. Сравнение динамики незвученных речевых фрагментов (пауз) в речи обследуемых в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии с применением ЦКР (дни, когда применялось вращение на центрифуге, отмечены кружками) и без профилактики.

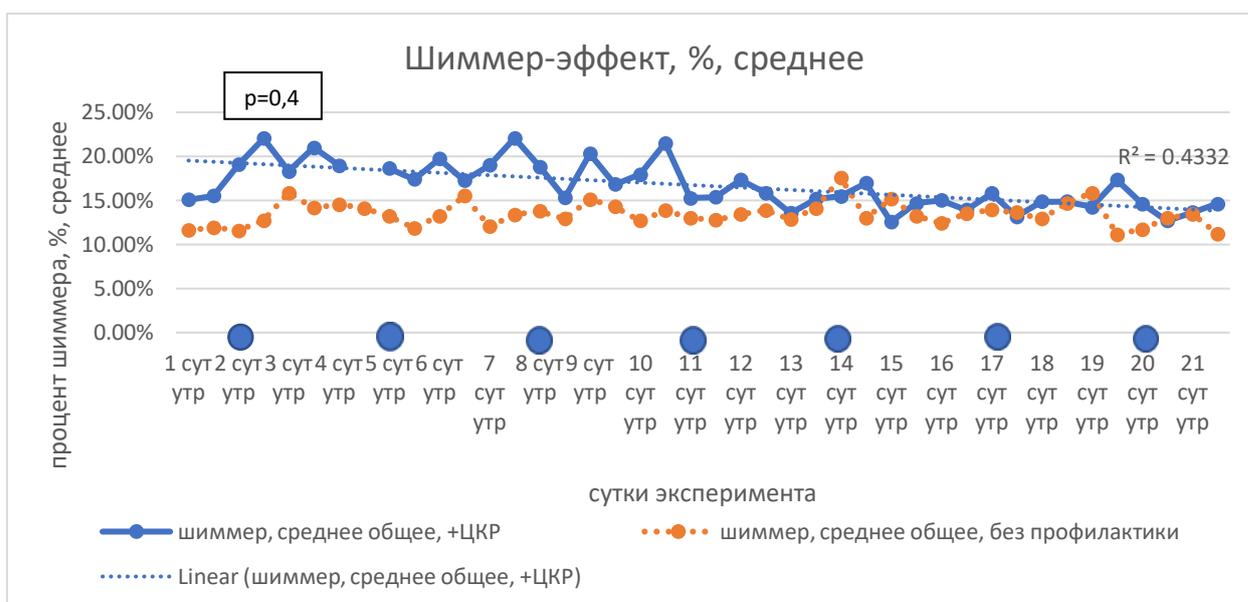


Рисунок 16. Сравнение динамики громкости речи обследуемых в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии с применением ЦКР (дни, когда применялось вращение на центрифуге, отмечены кружками) и без профилактики.

Для оценки когнитивной работоспособности и функционального состояния в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии с воздействием ЦКР регулярно проводилось когнитивное тестирование обследуемых.

В начале эксперимента испытуемые демонстрировали вработываемость: количество ошибок и высокий уровень лабильности при выполнении тестов сенсомоторную координацию (тест с экстраполяцией) в 1 и 2 сутки иммерсионного воздействия достигал своего пика (см. Рис.17). Похожая картина наблюдалась при решении зада на простой математический счёт. Временное снижение когнитивной работоспособности может быть связана с возбуждённым психофизиологическим состоянием обследуемых в первые дни иммерсии.

В утренний период (до вращения на ЦКР), испытуемые демонстрировали в среднем снижение точности и повышение лабильности при выполнении тестов на сенсомоторную координацию по сравнению с вечерним выполнением, и эта закономерность была довольно стабильной в течение всего 21-суточного эксперимента. Аналогичную, хоть и менее выраженную динамику можно наблюдать и при выполнении простых математических вычислений, а также в тестах на способность к экстраполяции (см. рис. 17). Следует отметить, что последний навык постепенно улучшался на протяжении всего эксперимента.



Рисунок 17. Данные по РДО-экстраполяция: ошибки в точности выполнения и лабильность сенсомоторного ответа в ходе 21-суточной «сухой» иммерсии в дни проведения вращения на ЦКР – до вращения (у) и через несколько часов после вращения (в).

Самооценочный опросник настроения POMS показал различия до и после вращения на ЦКР. После первых двух вращений (2 и 5 сут.) у обследуемых уменьшались показатели дружелюбности и активности, возрастали показатели усталости, подавленности и растерянности. Однако, к третьему вращению на ЦКР описываемая закономерность меняется на противоположную: после вращения наблюдается увеличение дружелюбности и уменьшение усталости. Данное изменение динамики можно объяснить психофизиологической адаптацией к периодическим интенсивным воздействиям – они становились стимулирующим обследуемых фактором, приносящим разнообразие в длительный эксперимент. Также необходимо отметить, что из трёх обследуемых только один от начала до конца эксперимента отмечал изменения своего самочувствия, ещё один заметно снизил разнообразие своих ответов во второй половине эксперимента, и ещё один с самого начала давал одинаковые ответы на опросник. Это указывает на ограничение применения самооценочных опросников в качестве способа выявить самочувствие обследуемых – необходимо, как минимум, сравнивать их с объективными методами измерения психофизиологического состояния человека.

По данным опросника STAI после 5-х суток ситуативная тревожность резко возросла и далее её динамика менялась: перед вращением на ЦКР она была максимальной и минимальной – в вечерние часы после вращения. Вероятно, такие результаты в целом говорят о субъективной значимости предстоящего опыта перегрузок и ощущении расслабленности после успешного завершения интенсивного воздействия. В первые и последние сутки с применением ЦКР обследуемые показали наименьшую тревожность. Следует отметить, что самооценочный тест STAI отличается от POMS способом предъявления: обследуемые выполняют компьютерное тестирование, в процессе которого нет возможности видеть все вопросы одновременно и скопировать предыдущие ответы. Таким образом, получаемые результаты являются более информативными.

Также следует отметить, что показатели лабильности электрокожного сопротивления (ЭКС) после окончания иммерсии снизились в среднем на 34,8% – похожий результат был зафиксирован в эксперименте с 21-суточной «сухой» иммерсии без применения профилактики в виде вращения на ЦКР (Лебедева и др., 2019; Лебедева и др., 2020).

3.2.1.3. Эксперимент 7-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием мужчин

По данным, полученным в 7-суточной «сухой» иммерсии с участием мужчин, начало острого периода адаптации можно отнести к вечеру 1 суток - утру 2 суток. Как и в предыдущих экспериментах, оно выражалось в повышении ЧОТ, затем сменявшимся снижением. Аналогичную динамику можно было наблюдать в субъективной оценке ситуативной тревожности.

Острый этап адаптации выражался у обследуемых по-разному: у группы, в которую входили «опытные» обследуемые (участвовавшие в подобных исследованиях ранее) процесс адаптации к безопорности проходил мягче и быстрее (примерно до утра 2 суток) (см. рис. 18). В то же время, у «новичков» (впервые испытавших на себе эффекты «сухого» погружения) первые 3 суток были отмечены более резкими перепадами ЧОТ и процента пауз в речи (с более высокими значениями в вечерние часы).

Также более значимыми с психоэмоциональной точки зрения для «новичков» оказались дни, связанные с пробой мышечной биопсии (вечер 6 суток – утро 7 суток).

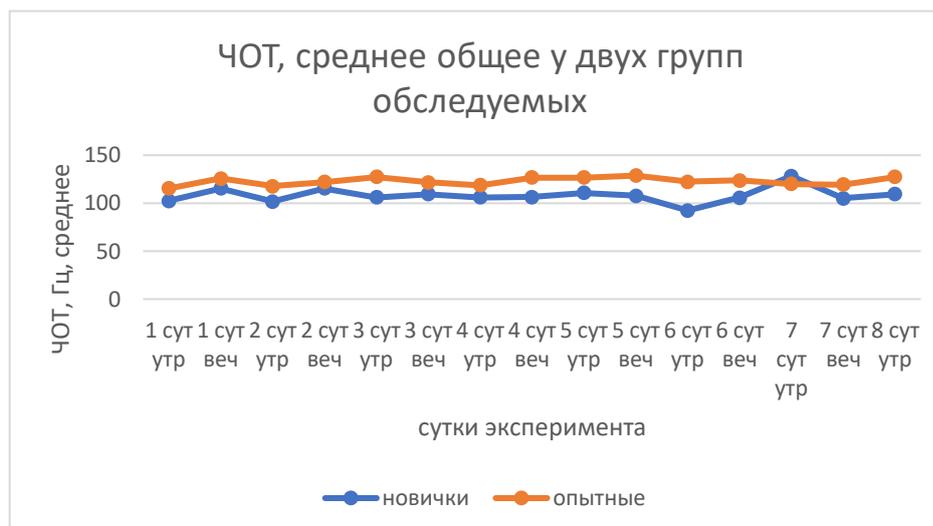


Рисунок 18. Динамика изменения ЧОТ (средней частоты основного тона) у «опытных» обследуемых и «новичков».

В целом, группа обследуемых, впервые принимавших участие в «сухой» иммерсии, демонстрировала значительно более низкую ЧОТ, более высокий процент джиттера в голосе (см. Рис.19), а также более ярко реагировала на значимые события 7-суточного эксперимента, чем их более опытные «коллеги».

Итоги по проверке гипотезы

	Нулевая гипотеза	Критерий	Значимость	Решение
1	Распределение $H24OTMeanpitch$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,000	Нулевая гипотеза отклоняется.
2	Распределение $Medianpitch$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,000	Нулевая гипотеза отклоняется.
3	Распределение $dbmeanenergyintensity$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные.	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,186	Нулевая гипотеза принимается.
4	Распределение $Numberofpulses$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,256	Нулевая гипотеза принимается.
5	Распределение $Fractionoflocallyunvoicedframes$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,459	Нулевая гипотеза принимается.
6	Распределение $Jitterlocal$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,000	Нулевая гипотеза отклоняется.
7	Распределение $Shimmerlocal$ является одинаковым для категорий группы новички/опытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,184	Нулевая гипотеза принимается.

Выводятся асимптотические значимости. Уровень значимости равен ,05.

Рисунок 19. Различие в акустических характеристиках речи у «опытных» обследуемых и «новичков».

Субъективная тревожность обследуемых имела схожую динамику и разделение: «новички» меньше тревожились сразу после начала эксперимента (см. рис. 20), но затем уровень их общей тревожности был значительно выше их опытных «коллег» (см. рис. 21).

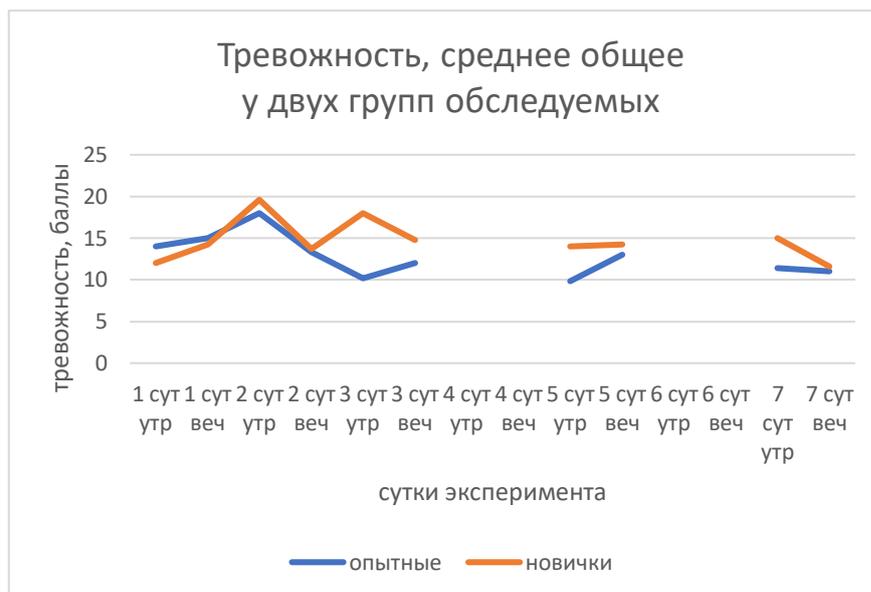


Рисунок 20. Динамика изменения ситуативно воспринимаемой тревожности у «опытных» обследуемых и «новичков».

Итоги по проверке гипотезы

	Нулевая гипотеза	Критерий	Значимость	Решение
1	Распределение Тревожность является одинаковым для категорий группыновичкиопытныезависимых выборок	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,035	Нулевая гипотеза отклоняется.

Выводятся асимптотические значимости. Уровень значимости равен ,05.

Рисунок 21. Различие в уровне воспринимаемой тревожности у «опытных» обследуемых и «новичков».

Помимо различий в акустических характеристиках речи и уровнях тревожности, представленные группы имели различия и при выполнении операторских задач: «новички» отличались большим временем, затрачиваемым на решение простых математических уравнений, большей лабильностью и меньшей точностью выполнения сенсомоторного теста РДО (см. Рис.22).

Итоги по проверке гипотезы

	Нулевая гипотеза	Критерий	Значимость	Решение
1	Распределение РДОкоординация_Точность является одинаковым для категорий группыновичкиопытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,455	Нулевая гипотеза принимается.
2	Распределение РДОкоординация_Лабильность является одинаковым для категорий группыновичкиопытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,004	Нулевая гипотеза отклоняется.
3	Распределение РДОэкстраполяция_Точность является одинаковым для категорий группыновичкиопытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,007	Нулевая гипотеза отклоняется.
4	Распределение РДОэкстраполяция_Лабильность является одинаковым для категорий группыновичкиопытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,000	Нулевая гипотеза отклоняется.
5	Распределение ЧетНечет_Время является одинаковым для категорий группыновичкиопытные	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,000	Нулевая гипотеза отклоняется.
6	Распределение ЧетНечет_Ошибки является одинаковым для категорий группыновичкиопытные.	Критерий U Манна-Уитни для независимых выборок	,906	Нулевая гипотеза принимается.

Выводятся асимптотические значимости. Уровень значимости равен ,05.

Рисунок 22. Различия в когнитивной работоспособности у «опытных» обследуемых и «новичков».

Были также отмечены и общие тенденции: стабильное снижение времени, необходимого обследуемым для решения простым математических уравнений (в среднем, с 1000 мс до 800 мс), а также снижение ошибок в математическом счёте (см. рис. 23).

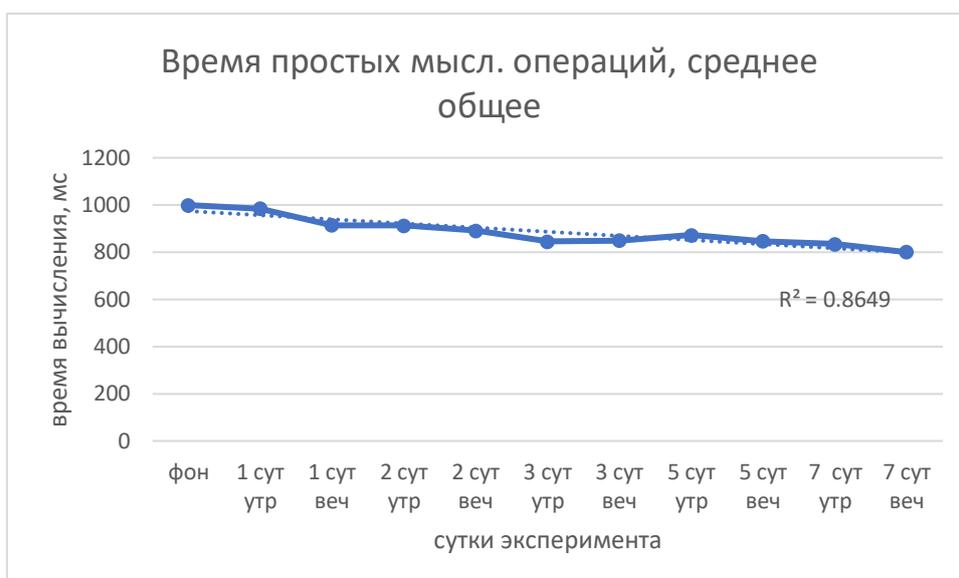


Рисунок 23. Время выполнения простых математических операций в ходе 7-суточной «сухой» иммерсии.

Также стоит упомянуть точность и лабильность при выполнении сенсомоторного теста РДО Координация. При достаточно стабильном выполнении отмечался пик ошибок точности, приходящийся на утро 2-х суток – начала острого этапа адаптации к безопорности (см. рис. 24).

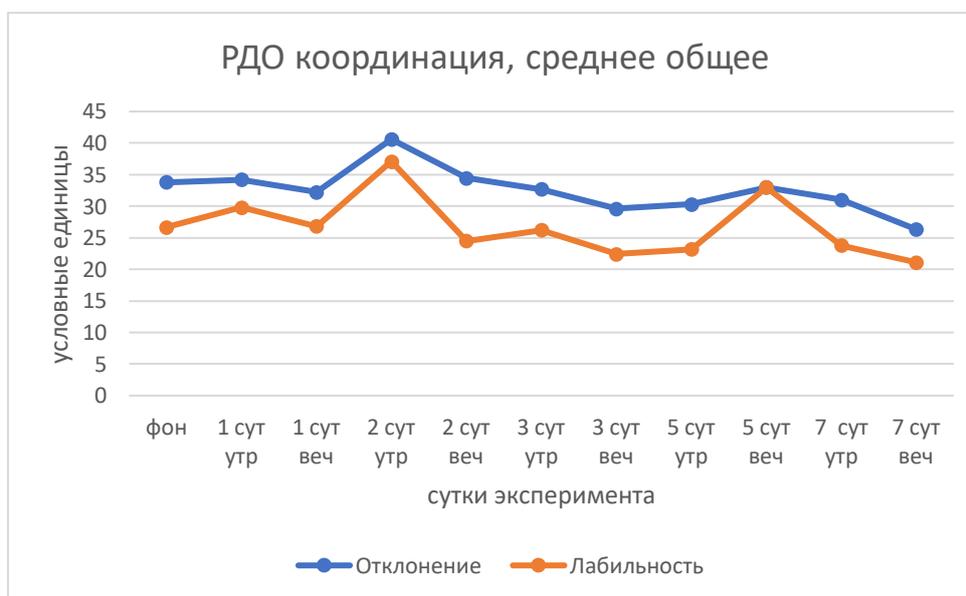


Рисунок 24. Данные по тесту «РДО-Координация»: ошибки в точности выполнения (отклонение) и лабильность в ходе 7-суточной «сухой» иммерсии.

3.2.1.4. Эксперимент 3-суточная «сухая» иммерсия без средств профилактики с участием женщин

Результаты «сухой» иммерсии с участием женщин показали некоторые отличия от аналогичных исследований с участием мужчин на этапе острой адаптации к условиям моделируемой микрогравитации.

Острый период адаптации у женщин в данном эксперименте, в среднем, начинался (вечер 1 сут.) и завершался (утро 3 сут.) раньше, чем у мужчин в предыдущих исследованиях. На наличие острого периода адаптации указывают изменение частоты основного тона (ЧОТ), громкости и шиммер-эффекта в речи (см. рис. 25 и 26). Следует отметить, что динамика изменений ЧОТ, если сравнивать с аналогичным периодом адаптации в экспериментах с участием мужчин, была менее выражена. В связи со стрессом ЧОТ у женщин понижалась по сравнению с начальными значениями, и не показывала значительных перепадов, как это было у мужчин в аналогичных экспериментах (см. рис. 26).

Выраженность изменений в показателях акустических характеристик речи на одинаковых точках измерений у обследуемых-женщин была менее интенсивной, чем у мужчин. Менее выраженной (сглаженной) была динамика изменений частоты основного тона (ЧОТ), количества голосовых импульсов и пауз в речи. В то же время изменения в громкости голоса оказались практически идентичными с показателями громкости речи обследуемых-мужчин в аналогичный острый период адаптации (см. рис. 26).

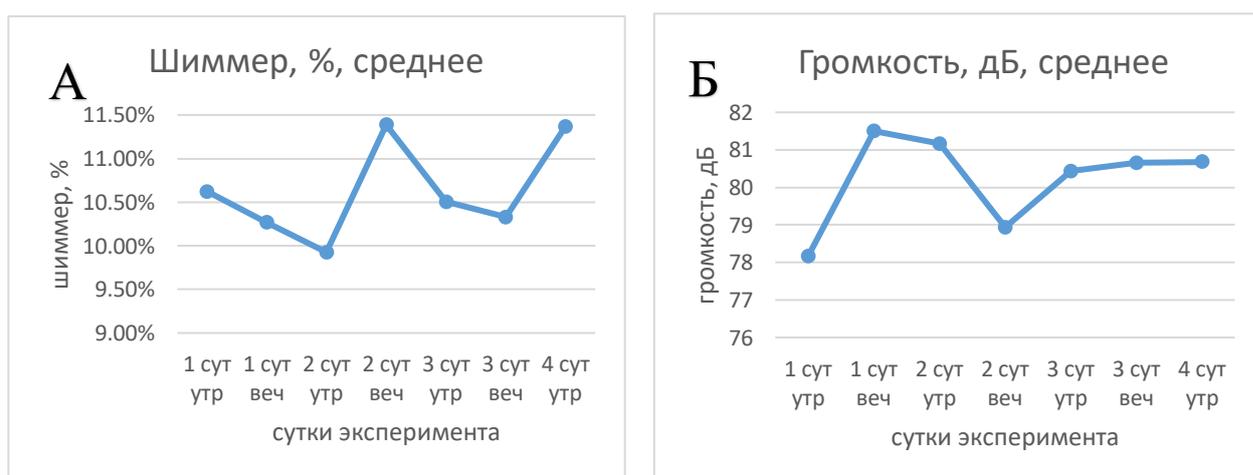


Рис. 25 (А и Б). Динамика шиммер-эффекта в речи (А) и громкости речи (Б) в 3-х суточном эксперименте с участием женщин.

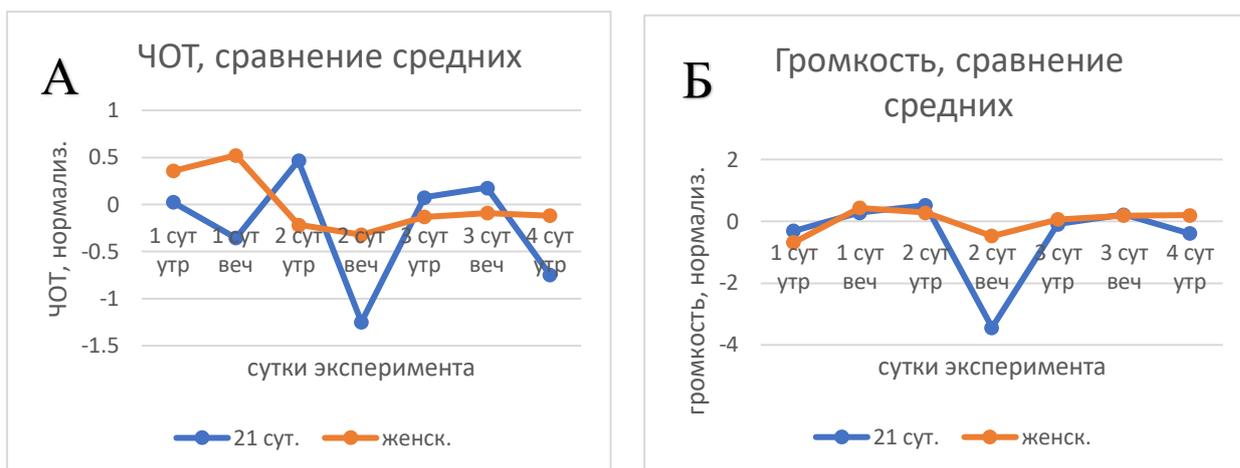


Рис. 26. Сравнение динамики частоты основного тона речи (ЧОТ) (А) и громкости (Б) в виде нормализованных значений в 3-х суточном эксперименте с участием женщин 21-суточном эксперименте с участием мужчин.

Методика оценки ситуативной тревожности Спилбергера-Ханина, предъявляемая каждый день утром и вечером, показала изменения уровня субъективно воспринимаемой напряжённости и беспокойства. Пик по шкале эмоций наблюдался вечером первых суток, что говорит о начале острой фазы адаптации (см. рис. 27). В отличие от экспериментов с участием мужчин, уровень субъективно воспринимаемой тревоги после окончания иммерсии у женщин был несколько выше, чем до начала воздействия. Этот результат нуждается в дополнительном изучении, так как может иметь зависимость от длительности эксперимента.

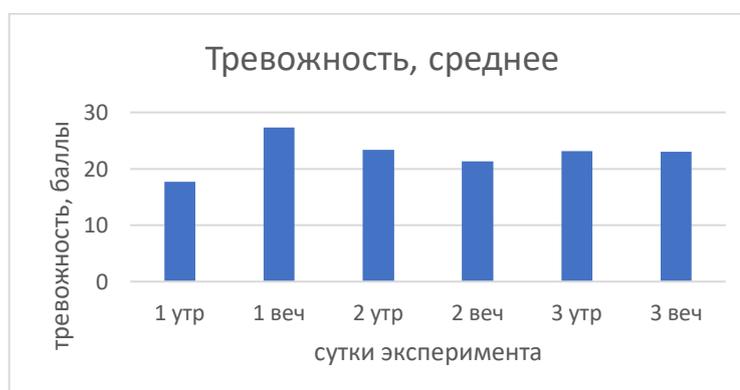


Рис. 27. Динамика субъективно переживаемой тревожности по Спилбергеру (баллы) в 3-х суточном эксперименте с участием женщин.

Психофизиологические исследования включали в себя изучение изменений лабильности нервной системы человека после длительно пребывания в условиях, имитирующих космический полёт.

После окончания иммерсионного воздействия показатели динамики электрокожного сопротивления (ЭКС, Абс. изм., кОм) у женщин существенно повышались – в среднем, на 30,3%. Следует отметить, что в экспериментах с участием мужчин, после 21-суточного пребывания в аналогичных условиях, абсолютное изменение ЭКС снижалось на 38,4%. Подобные результаты нуждаются в дополнительном изучении, так как в данном случае имеется разница не только в длительности экспериментов с использованием «сухой» иммерсии у мужчин и женщин, но и в количестве проведённых исследований.

Когнитивные тесты, проводившиеся утром и вечером на протяжении всего эксперимента, показали вариабельность некоторых психических и сенсомоторных функций, что, вероятно, было связано с изменениями функционального состояния обследуемых.

Наименьшую точность выполнения заданий на координацию (тест «РДО Координация») обследуемые показали утром первого дня и вечером второго, а наиболее точное выполнение отмечалось вечером первых суток и утром третьих. Сенсомоторный тест «РДО Экстраполяция» показал постепенное снижение лабильности и количества ошибочных нажатий, что соотносится с данными, полученными у обследуемых-мужчин (см. рис. 28).

Ошибки при выполнении простых математических вычислений были минимальными в утренние часы и возрастали в вечернее время, постепенно снижаясь к третьим суткам эксперимента (см. рис. 29). Время, затрачиваемое на их выполнение, также значительно снижалось, что говорит о возрастающей тренированности.

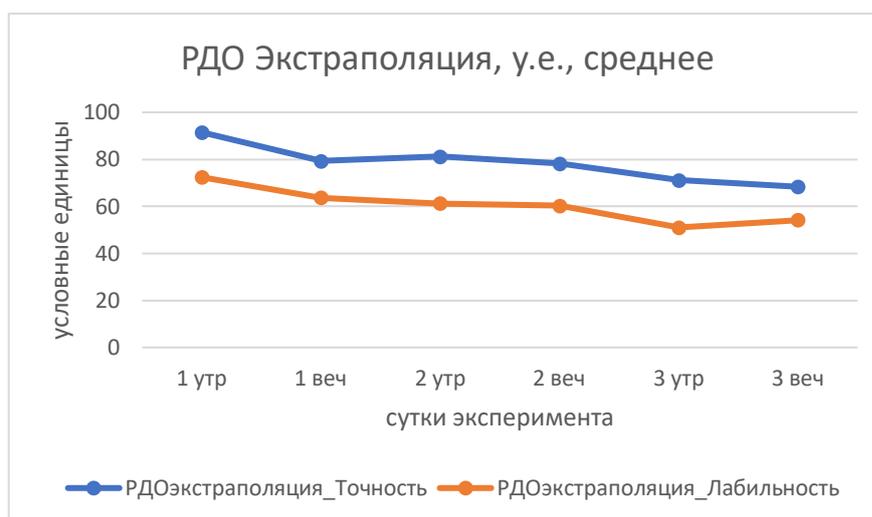


Рис. 28. Данные по тесту «РДО-экстраполяция»: ошибки точности при выполнении и лабильность при антиципации воздействия в ходе 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин.

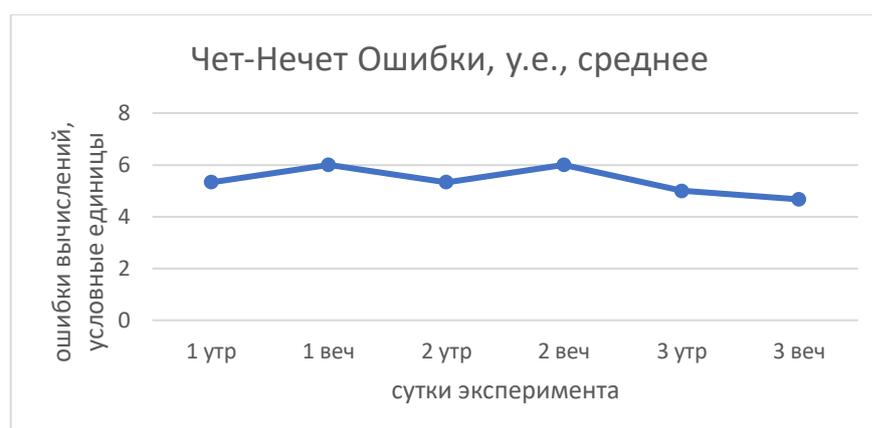


Рисунок 29. Количество ошибок при выполнении простых математических операций в ходе 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин.

3.2.2. Эксперименты с воздействием изоляции

3.2.2.1. Эксперимент с 4-месячной гермокамерной изоляцией

Целью изучения речевой коммуникации экипажа с ЦУП в условиях длительного изоляционного эксперимента являлся анализ динамики психофизиологического состояния обследуемых на протяжении длительного времени, в целях оценки психофизиологического состояния членов экипажа и эффективности межгруппового взаимодействия (Supolkina et al., 2021).

Анализ изменений основных звуковых параметров речи за первый месяц эксперимента показал, что в начальные дни (1–4-е сутки) изоляции все испытуемые проявляли повышенную ЧОТ и громкость речи, что, вероятно, отражало наличие стресса в период адаптации к новым условиям жизни. Затем, на 5-е сутки, показатели голоса членов экипажа возвращались к индивидуальной норме. Следующим этапом, отклонившим параметры акустических показателей, стало нарастание задержки связи с «внешним миром», 8–12-е сутки изоляции: вновь повышалась частота основного тона и громкость речи, увеличивались процент пауз и количество голосовых импульсов. Эти изменения были более заметны в острой стадии адаптации и свидетельствовали о реакции испытуемых на стрессоры

Последующее исследование звуковых характеристик речи за 4 месяца изоляции выявило тенденции к увеличению количества голосовых импульсов и повышению шиммер-эффекта в голосе испытуемых, а также к снижению процента пауз в речи и частоты основного тона. Со 2-го месяца эксперимента наблюдалось увеличение разницы между утренней и вечерней ЧОТ у всех обследуемых: она была выше в вечерних записях и ниже – в утренних. Период моделирования посадки на Луну характеризовался увеличением количества пауз, увеличением частоты основного тона речи и громкости, а также увеличением количества голосовых импульсов. Однако из-за разделения экипажа и перехода его части в другой модуль возникли технические проблемы с качеством аудиозаписи НЭКа, условия записи в котором были осложнены, поэтому полученные за тот период данные оказались неполными.

На протяжении 4-х месячного изоляционного эксперимента у обследуемых наблюдались общие тенденции: снижение частоты основного тона и процента пауз в речи, увеличение процента шиммер-эффекта и количества голосовых импульсов к концу эксперимента.

Помимо этого, у групп, разделённых по половому признаку, отмечались различия в динамике характеристик речевого сигнала:

- У женщин отмечалось снижение громкости речи к концу эксперимента (см. рис. 30)
- У мужчин отмечалось большее, чем у женщин, снижение ЧОТ речи к концу эксперимента.
- У мужчин отмечалось большее, чем у женщин, уменьшение количества пауз в речи к концу эксперимента (см. рис. 32).

- У мужчин отмечалось большее, чем у женщин, увеличение количества голосовых импульсов к концу эксперимента (см. рис. 31).

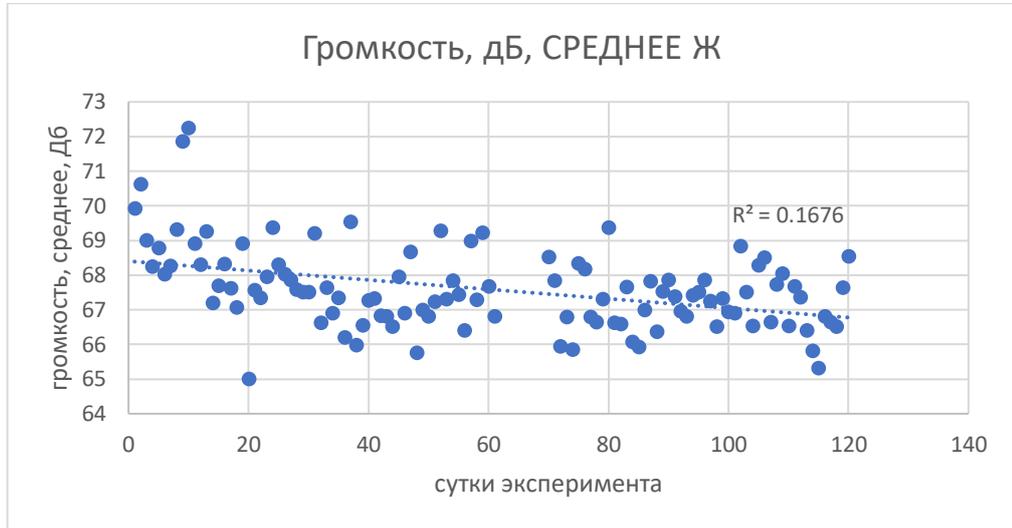


Рис. 30. Динамика громкости речи у обследуемых-женщин в 4-х месячном изоляционном эксперименте «SIRIUS-19».

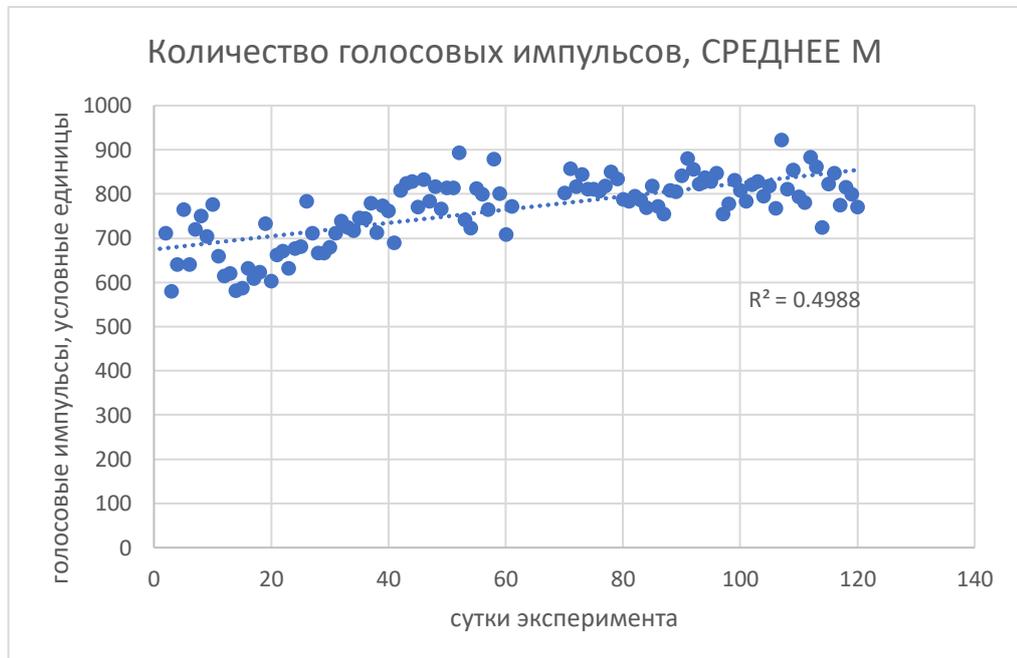


Рис. 31. Динамика количества голосовых импульсов в речи у обследуемых-мужчин в 4-х месячном изоляционном эксперименте «SIRIUS-19».

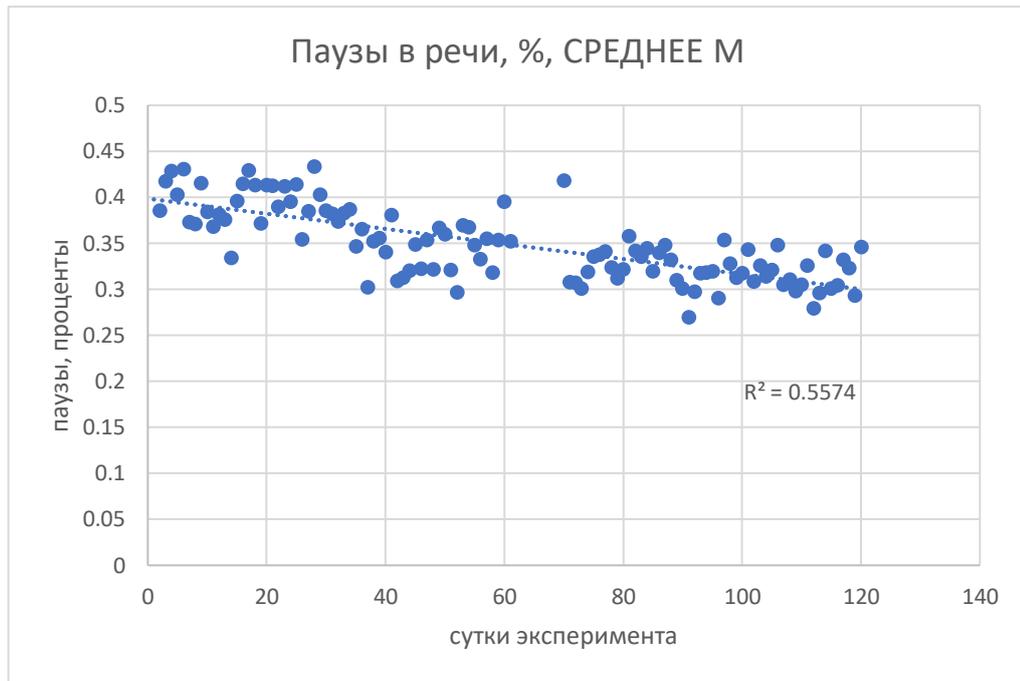


Рис. 32. Динамика процента пауз в речи у мужчин-обследуемых в 4-х месячном изоляционном эксперименте «SIRIUS-19».

Помимо этого, было обнаружено, что возрастанию общей длительности ежедневных утренних и вечерних планировочных конференций (DPC) у обследуемых соответствовало возрастание громкости и ЧОТ речи. Это может указывать на эмоциональную заряженность тем, которые они намеревались обсудить со специалистами ЦУПа.

3.2.2.2. Эксперимент с 14-суточной гермокамерной изоляцией и скученностью

Проанализировав данные эксперимента, можно говорить о следующей общей динамике параметров акустического сигнала и когнитивной работоспособности испытуемых: в течение периода изоляции наблюдалась тенденция к уменьшению процента пауз в речи, повышение скорости решения простых математических уравнений и уменьшение количества ошибок в них. В начале изоляции наблюдался острый период адаптации, выражающийся в увеличенной субъективно воспринимаемой тревожности (см. рис. 33) и повышении процента пауз в речи (см. рис. 34). Было отмечено, что участники испытывали наибольшую тревожность уже за несколько дней до начала воздействия, что было связано с ожиданием эксперимента и возросшей нагрузкой в связи со значительным количеством предварительных обследований.

С другой стороны, наименее «тревожным» (по опроснику STAI) периодом для испытателей было время проведения внекорабельной деятельности (ВКД) в 8-9-й сутки

эксперимента. В эти дни участники покидали обитаемый модуль и выходили в модуль Поверхности (Луны) для выполнения операторских задач, таких как тестирование виртуальной реальности и управление моделью лунного ровера. Умеренный стресс и выход из условий сенсорной депривации привели к уменьшению пауз в речи, повышению количества голосовых импульсов и снижению ошибок в сенсомоторных тестах.

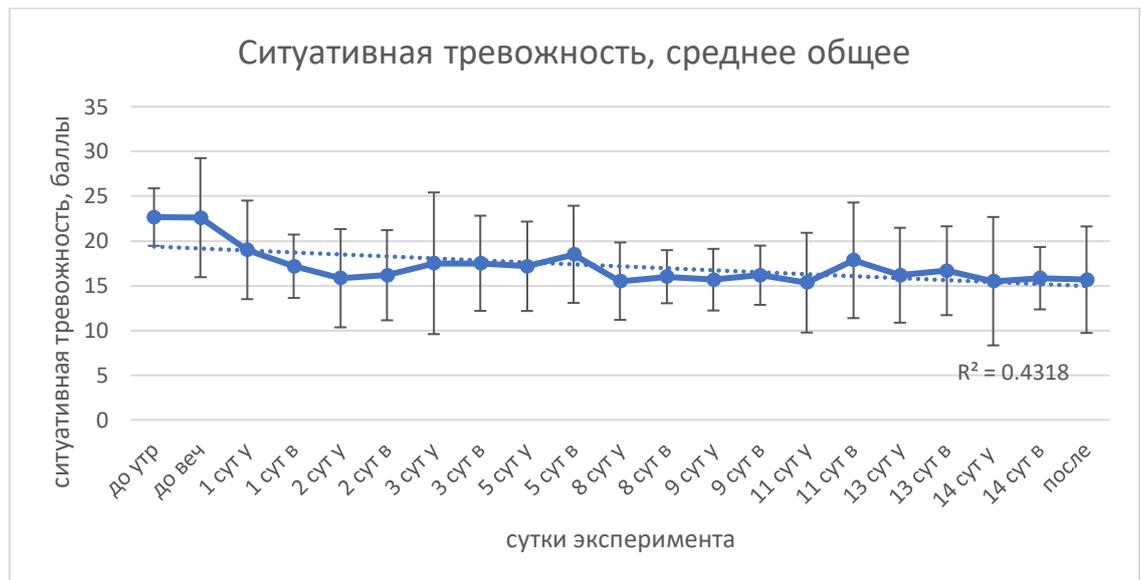


Рисунок 33. Динамика усреднённых значений субъективно воспринимаемой ситуативной тревожности обследуемых на протяжении 14-суточной изоляции.



Рисунок 34. Динамика усреднённых значений процента пауз в речи обследуемых на протяжении 14-суточной изоляции.

В целом, можно предположить, что сама изоляция и ограниченное пространство не были основными источниками психологического стресса в рамках данного исследования. Это может быть объяснено целями эксперимента, связанными с моделированием космического полета, общей мотивацией участников, и относительно короткой продолжительностью изоляции. Стремление к достижению поставленных целей могло оказывать более значительное воздействие на психологическое состояние участников, чем сама условия скученности и социальной депривации.

3.3. Оценка влияния индивидуальных и типологических особенностей обследуемых на адаптацию к экспериментальным воздействиям

В нескольких экспериментах было проведено исследование личностных особенностей обследуемых, включающих присущие им стратегии совладания со стрессогенными ситуациями и типологические черты (по шкалам «экстраверсия/интроверсия», «сенсорика/интуиция»). С этой целью до экспериментального воздействия обследуемые заполняли опросник совладания со стрессом COPE и опросник Кейрси (методика оценки темперамента). Мы исходили из предположения, что данные особенности могут повлиять на отражающуюся в регистрируемых параметрах (акустики речи, когнитивной работоспособности и психофизиологического состояния) динамику адаптации обследуемых к экспериментальным условиям, при этом разделяя их на группы по степени адаптивности.

Первичное изучение копинг-стратегий (стратегий совладания со стрессом) обследуемых в эксперименте ЦКР-2018 показало наличие возможной связи между предпочитаемыми стратегиями совладания и динамикой психофизиологического состояния обследуемых, отражающегося в том числе в акустических характеристиках речи.

Во время 21-суточной «сухой» иммерсии была показана динамика способов совладания у испытуемых в начале и по завершению экспериментального воздействия (по данным методики COPE): 6 из них к концу иммерсии чаще стали отмечать у себя неэффективные способы справляться со стрессом (уход от решения проблем, отрицание и социальную изоляцию), а также снижение эффективных стратегий совладания (таких как позитивная переоценка, проявление эмоций, юмор и принятие). Однако двое участников, наоборот, по завершении эксперимента начали чаще указывать в своих ответах позитивную переоценку, юмор, социальную поддержку и принятие трудностей, что проходило на фоне снижения активного совладания, подавления эмоций и сдерживания импульсивных

действий. На уровне тенденций, обследуемые, проявившие неэффективные копинг-стратегии, демонстрировали сочетание типологических черт экстравертов и интуитов (по методике оценки темпераментов Кейрси): такие личности активно вовлечены в общение с людьми, но при этом при принятии решений опираются на собственную интуицию, вне зависимости от того, как поступают в подобных ситуациях окружающие. С другой стороны, обследуемые, сочетающие в себе черты экстравертов и сенсориков (для которых характерны прагматичность и здравомыслие, склонность полагаться на жизненный опыт), отмечали у себя больше эффективных копинг-стратегий, которые косвенно могут говорить о более успешном прохождении эксперимента в условиях «сухой» иммерсии.

В 21-суточной «сухой» иммерсии с применением ЦКР в качестве средства профилактики также было показано наличие индивидуальных различий в способах совладания со стрессовым воздействием при помощи психологических копинг-стратегий, влияющих в том числе на их динамику после завершения стрессогенного воздействия (ЦКР) в условиях эксперимента. Была обнаружена тенденция к более частому использованию поведенческих и менее эмоциональных способов совладания со стрессом: возрастал уровень использования инструментальной социальной поддержки, позитивное переформулирование и юмор, снижалось использование мысленного ухода от проблем.

Исходя из наших предположений, индивидуальные особенности обследуемых, которые можно выявить с помощью личностных опросников, могут влиять на ход адаптации к неблагоприятным условиям жизнедеятельности. С целью уточнения этой гипотезы в трёх экспериментах с «сухой» иммерсией (21-суточная, 21-суточная + ЦКР, 3-суточная с участием женщин) до и после воздействия моделируемой микрогравитации проводились измерения электрокожного сопротивления (ЭКС) во время релаксации (методика «Релаксометр»). Мы ожидали установить индивидуальные особенности психофизиологической адаптации обследуемых к воздействию моделируемой микрогравитации, которые также могли найти отражение в особенностях когнитивной работоспособности и речевом поведении. В 21-суточных «сухих» иммерсиях с участием мужчин – как без профилактики, так и с профилактикой в виде вращения на ЦКР – показатели абсолютного и относительного изменения электрокожного сопротивления (отражающих способность к произвольному расслаблению, измеряемую с помощью методики «Релаксометр») у большинства обследуемых существенно снижались (в среднем на 38,4%) после окончания эксперимента по сравнению с измерениями в фоне (до начала иммерсии). В отличие от обследуемых-мужчин в 21-суточных иммерсиях, у женщин в 3-суточной «сухой» иммерсии после окончания иммерсионного воздействия показатели

динамики электрокожного сопротивления (ЭКС, абсолютное изменение, кОм) повышались – в среднем, на 30,3%. Полученные данные могут отражать лабильность нейровегетативной регуляции (Изард, 1999; Сидоров, 2013). Однако, не было обнаружено статистически достоверных связей ни с исследуемыми видами деятельности (когнитивной и речевой), ни с индивидуальными психологическими особенностями. Это может объясняться различной длительностью экспериментов с использованием «сухой» иммерсии у мужчин и женщин, а также количеством проведённых исследований (только до и после экспериментального воздействия).

В 14-суточном изоляционном эксперименте использовались опросник совладания со стрессом и опросник Кейрси (данные предоставлены Кузнецовой П.Г.). Опросник темперамента показал, что в «экипаже» модельного эксперимента оказалось 2 интроверта и 4 экстраверта, и все из них обладали компетенцией Планирования (Judging). Трое обследуемых были склонны к Сенсорике (Sensing) и Логике (Thinking), что можно описать как сенсорно-планирующий тип темперамента. Ещё два обследуемых демонстрировали ярко выраженную компетенцию Интуиции (Intuition). Таким образом, экипаж 14-суточного изоляционного эксперимента состоял из 3 «логистиков», 2 «дипломатов» и 1 «стратега». Темпераменты обследуемых не обнаружили каких-либо статистических взаимосвязей с предпочитаемыми копинг-стратегиями: наиболее часто испытуемые указывали активное совладание, планирование, позитивное переформулирование и личностный рост. Помимо этого, указанные типологические особенности обследуемых не нашли отражения в их когнитивной работоспособности или специфическом речевом поведении. Тем не менее, знание о личностных характеристиках дополнили и уточнили картину адаптации к экспериментальному воздействию.

Полученные данные личностных опросников играют важную роль в качественном описании психологических черт обследуемых, а также их динамики по завершении экспериментального воздействия. Тем не менее, не было установлено статистически достоверных связей, удовлетворительных для дальнейшей интерпретации, включая типологическую группировку обследуемых и установление взаимосвязей между индивидуальными особенностями и динамикой функционального состояния (изменения акустики речи и когнитивной работоспособности) в ходе адаптации. Предположительная причина этого – недостаточный объём выборки по числу обследуемых и наличие выраженных индивидуальных различий, как и существенных различий в экспериментальных условиях.

4.4. Взаимосвязь акустических характеристик речи и показателей эмоциональной экспрессии в мимике

В двух экспериментах (3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин и в изоляционном эксперименте с 4-месячной изоляцией) в рамках утренних и вечерних отчётов параллельно с аудиозаписью проводилась видеосъёмка обследуемых. Это позволило провести количественный анализ мимики человека для определения его эмоционального состояния с использованием валидизированной методики (ПО FaceReader) (данные предоставлены Савинкиной А.О.).

Результаты корреляционного анализа (коэффициент корреляции Пирсона) в рамках эксперимента с 3-суточной «сухой» иммерсией с участием женщин показал наличие взаимосвязей только с одним показателем мимического выражения – нейтральной эмоцией – и акустическими характеристиками речи, такими как процент пауз в речи ($p < 0,01$; $0,42^*$) и количество голосовых импульсов ($p < 0,02$; $-0,38^*$). Другие параметры мимической экспрессии не обнаруживали значимых корреляций с акустическими характеристиками речи. Причиной этого может быть как специфика видеозаписи лица человека в условиях «сухой» иммерсии (опухлость лица в период адаптации к эффектам моделируемой микрогравитации, нестандартное для программы FaceReader положение лёжа в момент записи), так и статус первого в мире эксперимента в подобных условиях с участием женщин-добровольцев (и, соответственно, повышенным самоконтролем за выражением эмоциональных состояний у обследуемых) (Lebedeva et al., 2022).

В рамках 4-месячного изоляционного эксперимента удалось установить значимые корреляции акустических показателей речи с результатами анализа эмоциональной экспрессии в мимике, осуществляемого с помощью валидизированного ПО FaceReader (см. Табл.5).

Таблицы 5 (А и Б). Результаты корреляционного анализа акустических параметров речи и базовых эмоций, отражённых в мимике по данным ПО FaceReader в 4-месячном изоляционном эксперименте: Таблица 5А – с выборкой обследуемых-мужчин, Таблица 5Б – с выборкой обследуемых-женщин.

Табл. А. Корреляционный анализ: 4-месячный изоляционный эксперимент, мужчины-обследуемые								
		Громкост ь	ЧОТ среднее	ЧОТ медиан	Голосовые импульсы	Паузы	Джитте р	Шимме р
Нейтральност ь (Neutral)	Корреляци я Пирсона	-,093*	,526**	,587**	,321**	,109**	,092*	,124**
	Знч.(2- сторон)	,022	,000	,000	,000	,007	,023	,002
	N	606	606	606	606	606	606	606
Радость (Happy)	Корреляци я Пирсона	-,597**	-,204**	-,243**	-,103*			,627**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,011			,000
	N	606	606	606	606			606
Грусть (Sad)	Корреляци я Пирсона	,207**	-,541**	-,592**	-,311**	-,111**	-,085*	-,239**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000	,006	,037	,000
	N	606	606	606	606	606	606	606
Злость (Angry)	Корреляци я Пирсона	,410**	-,294**	-,282**	-,160**			-,431**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000			,000
	N	606	606	606	606			606
Удивление (Surprised)	Корреляци я Пирсона	,360**	-,205**	-,192**		-,099*		-,324**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000		,015		,000
	N	606	606	606		606		606
Страх (Scared)	Корреляци я Пирсона	,255**	-,481**	-,511**	-,195**	-,188**	-,078	-,256**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000	,000	,05	,000
	N	606	606	606	606	606	606	606
Отвращение (Disgusted)	Корреляци я Пирсона	,334**	,515**	,549**	,344**			-,375**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000			,000
	N	606	606	606	606			606
Валентность (Valence)	Корреляци я Пирсона	-,563**	,093*	,081*	,056			,600**
	Знч.(2- сторон)	,000	,022	,047	,170			,000
	N	606	606	606	606			606
Возбуждение (Arousal)	Корреляци я Пирсона	,324**		-,109**	,081*	-,136**		-,329**
	Знч.(2- сторон)	,000		,007	,046	,001		,000

	N	606		606	606	606		606
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.). *. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).								

Табл. Б. Корреляционный анализ: 4-месячный изоляционный эксперимент, женщины-обследуемые								
		Громкость	ЧОТ среднее	ЧОТ медиан	Голосовы е импульсы	Паузы	Джитте р	Шимме р
Нейтральность (Neutral)	Корреляция Пирсона	-,129**	-,187**	-,146**		-,128**	,118**	,159**
	Знч.(2-сторон)	,001	,000	,000		,001	,003	,000
	N	618	618	616		618	618	618
Радость (Happy)	Корреляция Пирсона	,181**	,203**	,248**		,238**	,129**	
	Знч.(2-сторон)	,000	,000	,000		,000	,001	
	N	618	618	616		618	618	
Грусть (Sad)	Корреляция Пирсона	-,121**		-,083*	,136**	-,203**	-,254**	
	Знч.(2-сторон)	,003		,039	,001	,000	,000	
	N	618		616	618	618	618	
Злость (Angry)	Корреляция Пирсона	,127**	,295**	,271**	-,176**	,375**	,181**	
	Знч.(2-сторон)	,002	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	618	618	616	618	618	618	
Удивление (Surprised)	Корреляция Пирсона	,137**				,139**	,095*	
	Знч.(2-сторон)	,001				,001	,018	
	N	618				618	618	
Страх (Scared)	Корреляция Пирсона	,134**	,308**	,312**	-,156**	,372**	,207**	
	Знч.(2-сторон)	,001	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	618	618	616	618	618	618	
Отвращение (Disgusted)	Корреляция Пирсона	,093*	,152**	,135**	-,103*	,201**	,148**	
	Знч.(2-сторон)	,020	,000	,001	,010	,000	,000	
	N	618	618	616	618	618	618	
Валентность (Valence)	Корреляция Пирсона	,153**	,088*	,157**	-,129**	,240**	,250**	
	Знч.(2-сторон)	,000	,028	,000	,001	,000	,000	
	N	618	618	616	618	618	618	

Возбуждение (Arousal)	Корреляция Пирсона	,124**	,204**	,276**	-,276**	,461**	,355**	,107**
	Знч.(2-сторон)	,002	,000	,000	,000	,000	,000	,008
	N	618	618	616	618	618	618	618
** . Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).								
* . Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).								

У мужчин-обследуемых по значениям «Грусти» и «Страха» были найдены идентичные закономерности: прямая корреляционная связь с громкостью ($p < 0,001$) и обратные связи – с ЧОТ ($p < 0,001$), голосовыми импульсами ($p < 0,001$), процентом пауз ($p < 0,001$), джиттера ($p < 0,05$) и шиммера ($p < 0,001$).

У женщин-обследуемых похожие корреляции обнаружались между акустическими параметрами и такими эмоциями как злость, страх и отвращение: положительные корреляции с громкостью ($p < 0,001$), ЧОТ ($p < 0,001$), процентом пауз ($p < 0,001$) и джиттера ($p < 0,001$) в речи, и отрицательные – с количеством голосовых импульсов ($p < 0,001$). Два представленных эксперимента с женскими выборками (3-суточная «сухая» иммерсия и 4-месячный изоляционный эксперимент) не обнаружили схожего характера установленных корреляционных связей – вероятнее всего, ввиду существенной разницы как в условиях проведения исследований, так и в их объёме, а также индивидуальных личностных особенностях обследуемых.

Тем не менее, результаты длительного изоляционного эксперимента показывают обнадеживающие результаты взаимосвязи акустических параметров речи и показателей эмоциональной экспрессии в мимике, что может быть использовано при дальнейшем изучении самоотчётов, записанных не только с помощью аудио-, но и видео- записи.

3.5. Взаимосвязь акустических характеристик речи и физиологических показателей

Было проведено сопоставление данных акустического анализа и данных медицинского контроля (ЧСС, АД, температура тела) в экспериментах: 21-суточной «сухой» иммерсии, 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин, 14-суточном и 4-месячном изоляционном эксперименте. Физиологические данные для сравнения предоставлены Томиловской Е.С. и Ниязовым А.Р.

В каждом из представленных экспериментов удалось установить значимые корреляционные связи между параметрами акустики речи и физиологического состояния человека.

Наиболее информативным во взаимосвязи с ЧСС оказались такие акустические параметры, как ЧОТ и число голосовых импульсов (см. табл. 6). В трёх экспериментах (21-сут «сухая» иммерсия и 14-сут и 4-мес изоляционные эксперименты) ЧОТ у мужчин отрицательно коррелировала с ЧСС. Отдельно стоит рассмотреть измерения физиологических параметров в изоляциях: в 4-месячном эксперименте было показано, что у обследуемых-мужчин с ЧСС обратно коррелировали ЧОТ и голосовые импульсы, так же, как и громкость, в то время как процент шиммера коррелировал положительно. В этом же эксперименте у женщин наблюдались противоположные тенденции: с ЧСС положительно коррелировали ЧОТ и голосовые импульсы, и отрицательно – процент пауз в речи и джиттера. Но если у мужчин в 4-месячном и 14-суточном эксперименте ЧОТ была ниже в периоды, когда их ЧСС был повышен, то у женщин в понижение ЧОТ в связи с повышением ЧСС обнаруживалось только в короткой, 14-суточной изоляции.

Таблица 6. Результаты корреляционного анализа данных по экспериментам с «сухой» иммерсией и изоляционным экспериментам с участием мужчин и женщин (коэффициент корреляции Пирсона): сопоставление акустических характеристик речи и частоты сердечных сокращений (ЧСС).

Корреляции		ЧОТ средне е	ЧОТ медиа н	Громкост ь	Голосовы е Импульс ы	Паузы	Джитте р	Шимме р
3-сут «сухая» иммерсия с участием обследуемых-женщин								
ЧСС	Корреляци я Пирсона				,315*			
	Знч.(2- сторон)				0,04			
	N				41			
4-мес изоляционный эксперимент с участием обследуемых-женщин								
ЧСС	Корреляци я Пирсона	,1**	,12**		,15**	-,13**	-,1**	

	Знч.(2-сторон)	0,005	0,001		0,0001	0,0002	0,007	
	N	702	700		702	702	702	
14-сут изоляционный эксперимент с участием обследуемых-женщин								
ЧСС	Корреляция Пирсона	-,8**	-,6**	-,79**	-,83**	,72**	,48*	,66**
	Знч.(2-сторон)	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000
	N	26	26	26	26	26	26	26
21-сут «сухая» иммерсия с участием обследуемых-мужчин								
ЧСС	Корреляция Пирсона	-,1**	-,2**		-,18**		,15**	,12*
	Знч.(2-сторон)	0,005	0,0003		0,001		0,006	0,02
	N	313	313		313		313	313
4-мес изоляционный эксперимент с участием обследуемых-мужчин								
ЧСС	Корреляция Пирсона	-,3**	-,48**	-,32**	-,39**			,28**
	Знч.(2-сторон)	0,0001	0,000	0,000	0,000			0,000
	N	671	671	671	671			671
14-сут изоляционный эксперимент с участием обследуемых-мужчин								
ЧСС	Корреляция Пирсона	-,39**	-,46**	,3*		-,27*		
	Знч.(2-сторон)	0,002	0,000	0,019		0,036		
	N	58	58	58		58		
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).								
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).								

Данные о систолическом артериальном давлении были получены в 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин и в изоляционных экспериментах с участием обоих полов – 4-месячным и 14-суточным. Во всех измерениях громкость положительно коррелировала с систолическим АД (см. табл. 7). Были установлены достоверные корреляционные связи

между данным показателем и такими акустическими параметрами, как громкость и шиммер. Аналогичные результаты были получены по диастолическому артериальному давлению.

Таблица 7. Результаты корреляционного анализа данных по экспериментам с «сухой» иммерсией и изоляционным экспериментам с участием мужчин и женщин (коэффициент корреляции Пирсона): сопоставление акустических характеристик речи и частоты сердечных сокращений (ЧСС).

Корреляции		ЧОТ средне е	ЧОТ медиа н	Громкост ь	Голосовы е Импульс ы	Пауз ы	Джитте р	Шимме р
3-сут «сухая» иммерсия с участием обследуемых-женщин								
сАД	Корреляци я Пирсона			,48**	,32*			-,51**
	Знч.(2- сторон)			0,001	0,04			0,001
	N			42	42			42
4-мес изоляционный эксперимент с участием обследуемых-женщин								
сАД	Корреляци я Пирсона			,084*				-,09*
	Знч.(2- сторон)			0,02				0,01
	N			702				702
14-сут изоляционный эксперимент с участием обследуемых-женщин								
сАД	Корреляци я Пирсона	,61**	,56**	,59**	,68**	-,66**	-,41*	,61**
	Знч.(2- сторон)	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,03	0,001
	N	26	26	26	26	26	26	26
4-мес изоляционный эксперимент с участием обследуемых-мужчин								
сАД	Корреляци я Пирсона	,4**	,5**	,27**	,33**			-,23**

	Знч.(2-сторон)	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0
	N	671	671	671	671			671
14-сут изоляционный эксперимент с участием обследуемых-мужчин								
сАД	Корреляция Пирсона	-,51**	-,64**	,29*				
	Знч.(2-сторон)	0,000	0,000	0,02				
	N	58	58	58				
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).								
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).								

Полученные данные показывают наличие достоверных взаимосвязей между физиологическими проявлениями психофизиологического состояния и характеристиками речевого сигнала у обследуемых в экспериментальных условиях.

3.6. Взаимосвязь акустических характеристик речи и показателей когнитивной работоспособности

Было проведено сопоставление данных акустического анализа и данных когнитивного тестирования обследуемых в экспериментах с «сухой» иммерсией и в изоляционных экспериментах. В качестве дополнительной методики использовались данные автоматизированного опросника ситуативной тревожности Спилбергера (STAI), который проводился в те же временные промежутки, что и когнитивное тестирование. Для поиска общих закономерностей использовался факторный анализ методом выделения главных компонент (метод вращения Варимакс с нормализацией Кайзера), и далее – корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона) для уточнения взаимосвязи между наиболее информативными показателями компонент.

По результатам **21-суточной «сухой» иммерсии** был проведён факторный анализ, который позволил выделить значимые для данного исследования компоненты, состоящие из акустических показателей речи, результатов когнитивных тестов и теста ситуативной тревожности STAI. (см. табл. 8).

Первая компонента полученной матрицы показала обратную связь между ошибками точности и лабильностью сенсомоторного теста «РДО Координация» и такими параметрами речевого сигнала как частота основного тона речи, громкость и количество голосовых импульсов. Вторая компонента выявила обратную связь между временем принятия решения при простом математическом счёте (задача Чёт-нечет) и процентом пауз, процентом джиттер- и шиммер- эффекта в речи.

Таблица 8. Результаты факторного анализа данных (матрица повернутых компонент) акустического анализа речи и данных по тестам РДО Координация, РДО Экстраполяция и теста Чёт-нечет (выполнение простых математических операций), а также показателей опросника тревожности в эксперименте 21-суточная «сухая» иммерсия с участием мужчин без средств профилактики.

	Компонента			
	1	2	3	4
ЧОТ среднее	,925	,343	,106	,094
ЧОТ медиана	,802	-,291	-,330	,269
Громкость	,703	-,303	,171	-,535
Количество голосовых импульсов	,923	-,200	-,056	,221
Неозвученные речевые фрагменты (паузы)	,128	,797	,410	,336
Джиттер	-,646	,730	,066	,114
Шиммер	-,179	,836	,135	,395
РДО координация Ошибки точности	-,831	-,418	,103	-,245
РДО координация Лабильность	-,779	-,019	-,244	,355
РДО экстраполяция Ошибки точности	-,069	,117	,898	,124
РДО экстраполяция Лабильность	,007	-,055	,992	-,014
Чет-Нечет Время	-,085	-,902	,230	,144
Чет-Нечет Ошибки	,280	,602	,519	,340
Тревожность	,207	,209	,193	,775

Для более глубокого понимания полученных результатов был проведён дополнительный корреляционный анализ, который показал значимую ($p < 0,01$) взаимосвязь между акустическими показателями, такими как частота основного тона и количество голосовых импульсов, и результатами теста "РДО Координация" – точностью и лабильностью (см. таблицу 9). Эта обратная взаимосвязь может быть интерпретирована как лучшее прохождение теста на сенсомоторную координацию во временной промежуток, когда обследуемый говорил с более низким тоном речи и с меньшим количеством голосовых импульсов.

Также в рамках данного статистического исследования была показана значимая взаимосвязь между ЧОТ, громкостью и количеством голосовых импульсов (см. табл. 9).

Таблица 9. Корреляционные связи некоторых речевых показателей (ЧОТ, интенсивности (громкости) и количества голосовых импульсов) с данными сенсомоторного теста РДО Координация в эксперименте 21-суточная «сухая» иммерсия с участием мужчин без средств профилактики.

		ЧОТ среднее	Громкость	Количество голосовых импульсов	РДО коорд Ошибки точности	РДО координац ия Лабильн
ЧОТ среднее	Корреляция Пирсона		,214**	,344**	-,471**	-,385**
	Знч.(2-сторон)		,000	,000	,000	,000
	N		317	317	105	105
Громкость	Корреляция Пирсона	,214**		,262**		
	Знч.(2-сторон)	,000		,000		
	N	317		317		
Количество голосовых импульсов	Корреляция Пирсона	,344**	,262**		-,290**	-,331**
	Знч.(2-сторон)	,000	,000		,003	,001
	N	317	317		105	105

РДО координация Ошибки точности	Корреляция Пирсона	-,471**		-,290**		,813**
	Знч.(2-сторон)	,000		,003		,000
	N	105		105		105
РДО координация Лабильность	Корреляция Пирсона	-,385**		-,331**	,813**	
	Знч.(2-сторон)	,000		,001	,000	
	N	105		105	105	
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.)						

В результате проведенного нами корреляционного анализа второй компоненты было обнаружена значимая отрицательная взаимосвязь ($p < 0,01$) между процентом пауз в речи и временем, затраченным на решение простых математических уравнений (Чёт-нечет) (см. таблицу 10). Эта связь может указывать на доминирование внутренних когнитивных процессов у человека-оператора, в частности, преобладание внутреннего внимания над внешними. При таком распределении внимания человек меньше взаимодействует с окружающими или другими внешними факторами, сосредотачиваясь на внутренних аспектах, что обычно приводит к более быстрому решению абстрактных задач (Лурия, 2006).

Также в проведенном исследовании были выявлены значимые корреляции между паузами и процентом джиттер- и шиммер- эффектов в речи (см. табл. 10). На уровне тенденций эти речевые показатели также были связаны с временем принятия решений при математическом счёте.

Таблица 10. Корреляционные связи между процентом пауз в речи и временем, затраченным на выполнение простых математических операций в эксперименте 21-суточная «сухая» иммерсия с участием мужчин без средств профилактики.

		Неозвученные речевые фрагменты (паузы)	Джиттер	Шиммер	Чет-Нечет Время
Неозвученные речевые фрагменты (паузы)	Корреляция Пирсона		,451**	,502**	-,355**
	Знч.(2-сторон)		,000	,000	,000
	N		317	317	105
Джиттер	Корреляция Пирсона	,451**		,570**	

	Знч.(2-сторон)	,000		,000	
	N	317		317	
Шиммер	Корреляция Пирсона	,502**	,570**		
	Знч.(2-сторон)	,000	,000		
	N	317	317		
Чет-Нечет Время	Корреляция Пирсона	-,355**			
	Знч.(2-сторон)	,000			
	N	105			
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).					

В рамках **21-суточной «сухой» иммерсии с применением профилактических мер (вращения на ЦКР)** нами был проведён анализ взаимосвязей параметров акустики речи и показателей когнитивной работоспособности при помощи метода парных корреляций на основе критерия Пирсона, а также сравнение двух независимых выборок (критерий Манна-Уитни), чтобы определить значимость влияния вращений на ЦКР на функциональное состояние человека. Помимо этого, было проведено сравнение двух выборок: испытуемых из серии 21-суточного эксперимента без средств профилактики и собственно пилотного эксперимента с вращением на ЦКР каждые 3-е суток эксперимента в условиях «сухой» иммерсии.

Был проведён анализ связей между параметрами речевого сигнала и когнитивной работоспособностью обследуемых. С ошибками в простых математических вычислениях положительно коррелировали медианная ЧОТ ($p=0,01$) и количество голосовых импульсов ($p<0,0001$), в то время как количество пауз ($p<0,0001$) и процент шиммер-эффекта в речи ($p<0,01$) коррелировали отрицательно (см. Табл. 11). Описать полученные закономерности можно описать как повышение тональности речи и увеличение её скорости (уменьшение числа пауз между словами), при том что оператор в этот период времени делает больше ошибок в своей профессиональной деятельности – это может свидетельствовать о возбужденном состоянии центральной нервной системы обследуемого.

Также следует отметить, что показатели процента пауз в речи ($p<0,05$) и времени выполнения простых математических операций ($p<0,05$) коррелировали с днями, в которые происходило вращение на ЦКР – причём эти различия были равноценно значимыми и при сравнении с группой обследуемых из эксперимента с 21-суточной иммерсией без применения ЦКР. На утренних аудиозаписях в дни вращений было зафиксировано значительный процент пауз в речи, а скорость принятия решений при математическом счёте

возрастала (см. Табл. 12), что может быть интерпретировано как состояние фокусировки и концентрации, способствующие успешному прохождению этапа с вращением на ЦКР. Также представляется интересным факт, что положительная взаимосвязь между процентом пауз в речи и скоростью решений простых математических задач была обнаружена и в предыдущем эксперименте без профилактического использования центрифуги (Лебедева и др., 2020).

Медианная ЧОТ оказалась более информативной переменной, чем средняя частота основного тона речи, показавшая больше корреляционных связей в предшествующем эксперименте. Возрастание процента джиттер-эффекта и медианной частоты основного тона положительно коррелировали с лабильностью и ошибками при выполнении сенсомоторного теста на экстраполяцию (РДО). Данные результаты оказываются противоположными результатам предыдущего эксперимента без центрифуги, где повышение средней ЧОТ наоборот было взаимосвязано с повышением точности выполнения тестов на сенсомоторную координацию (Лебедева и др., 2020). Вероятно, повышение медианной ЧОТ в данных экспериментальных условиях в большей степени связывается с выполнением заданий на восприятие внутреннего времени, с концентрацией на внутренних процессах, а не с выполнением логических задач, таких как математический счёт или РДО-координация (задание, требующее в большей степени концентрации внимания и эффективной сенсомоторной координации). Это может указывать на использование различных функциональных особенностей человека-оператора в условиях длительного стресса и требует дальнейшего изучения.

При сравнении результатов исследований в иммерсионных экспериментах с наличием профилактических мер и без их применения, значимые отличия обнаруживаются практически по всем акустическим показателям речи: средней и медианной ЧОТ, количеству голосовых импульсов, проценту пауз, громкости ($p < 0,001$) и шиммер-эффекту ($p < 0,005$) в речи. В то же время, отличия в когнитивных тестах на уровне тенденций обнаруживаются только в ошибках ($p = 0,05$; больше в эксперименте с ЦКР) при математическом счёте. Вероятно, это различие связано в большей степени с индивидуальными различиями обследуемых, а не с программой эксперимента.

Таблица 11. Корреляционные связи между акустическими характеристиками речи и показателями выполнения когнитивных тестов на сенсомоторную координацию и выполнение простых математических операций в рамках эксперимента 21-суточная «сухая» иммерсия с ЦКР с участием мужчин.

		ЧОТ средняя	ЧОТ медианная	Кол-во голосов. импульсов	Процент пауз	Джиттер	Шиммер
РДО Координация Лабильность	Корреляция Пирсона						-,348*
	Знч.(2-сторон)						,024
	N						42
РДО Экстраполяция Ошибки точности	Корреляция Пирсона		,309*			,295	
	Знч.(2-сторон)		,047			,058	
	N		42			42	
РДО Экстраполяция Лабильность	Корреляция Пирсона		,464**	,343*	-,332*	,266	
	Знч.(2-сторон)		,002	,026	,032	,089	
	N		42	42	42	42	
ЧетНечет Время мысленных операций	Корреляция Пирсона	,311*	,300				
	Знч.(2-сторон)	,045	,053				
	N	42	42				
ЧетНечет Ошибки	Корреляция Пирсона		,373*	,550**	-,638**		-,452**
	Знч.(2-сторон)		,015	,000	,000		,003
	N		42	42	42		42

** . Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).

* . Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).

Таблица 12. Сравнение процента пауз в речи и времени, затрачиваемого на решение простых математических уравнений, в дни, когда проводилось вращение на ЦКР и в дни без применения ЦКР.

	Процент пауз в речи	ЧетНечет_Время мыслительных операций
Статистика U Манна-Уитни	1004,500	84,000
Статистика W Уилкоксона	3560,500	825,000
Z	-2,191	-1,971
Асимпт. знч. (двухсторонняя)	,028	,049
Точная знч. (2*(1-сторонняя Знач.))		,049 ^b
а. Группирующая переменная: дни с ЦКР и без ЦКР		
б. Не скорректировано на наличие связей.		

В эксперименте с **7-суточной «сухой» иммерсией** (мужчины, без мер профилактики) статистический анализ показал взаимосвязь между акустическими характеристиками речи и когнитивной работоспособностью, согласующуюся с предыдущими экспериментами с использованием модели «сухой» иммерсии (см. табл. 13).

Статистический анализ показал взаимосвязь между акустическими характеристиками речи и когнитивной работоспособностью, аналогично предыдущим экспериментам с «сухой» иммерсией. С количеством ошибок обратно коррелировали средняя ЧОТ ($p < 0,05$), громкость ($p < 0,01$) и количество голосовых импульсов ($p < 0,05$). В данном эксперименте обследуемые во временные периоды, когда темп их речи был быстрее, а голос был более высоким и громким, совершали меньше ошибок при математическом счёте.

С ошибками и лабильностью при выполнении сенсомоторных тестов РДО, а также временем принятия решений при математическом счёте обратно коррелировала частота основного тона (медианная ЧОТ, $p < 0,05$), а также больший процент джиттера ($p < 0,001$) в голосе. Чем выше были ЧОТ и процент джиттера в голосе, тем менее точно выполнялись сенсомоторные и когнитивные тесты.

Также были установлены связи между уровнем тревожности и акустическими характеристиками речи: при большей тревожности обследуемые в целом говорили более тихим голосом ($p = 0,008$), с меньшим количеством пауз ($p = 0,02$) и большим количеством голосовых импульсов ($p = 0,004$), т.е. с более высоким темпом речи.

Таблица 13. Корреляционные связи между акустическими характеристиками речи и результатами сенсомоторных и когнитивных тестов в рамках эксперимента 7-суточная «сухая» иммерсия с участием мужчин, без средств профилактики.

		РДОкоорди нация Ошибки точность	РДОкоор динация Лабильн ость	РДОэстр аполяция Ошибки точности	РДОэстрапо ляция Лабильность	ЧетНечет Время	ЧетНечет Ошибки
ЧОТ средняя	Корреляц ия Пирсона						-,320**
	Знч.(2- сторон)						,003
	N						85

ЧОТ медианная	Корреляция Пирсона	-,233*	-,258*	-,292**	-,292**	-,270*	
	Знч.(2- сторон)	,032	,018	,007	,007	,012	
	N	85	84	85	84	85	
Громкость	Корреляция Пирсона						-,278*
	Знч.(2- сторон)						,010
	N						85
Голосовые импульсы	Корреляция Пирсона						-,251*
	Знч.(2- сторон)						,020
	N						85
Джиттер	Корреляция Пирсона			,345**	,326**	,329**	
	Знч.(2- сторон)			,001	,002	,002	
	N			85	84	85	
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).							
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).							

В рамках эксперимента с **3-суточной «сухой» иммерсией с участием женщин** (без мер профилактики) нами был проведён факторный анализ данных по акустическим показателям речи, результатам когнитивных тестов и теста оценки ситуативной тревожности STAI, который позволил выделить значимые для данного исследования компоненты (см. табл. 14). Первая компонента полученной матрицы показала связь между ошибками точности (0,794) и лабильностью (0,752) сенсомоторного теста «РДО Экстраполяция», громкостью (-0,717), голосовыми импульсами (-0,798) и процентом пауз в речи (0,760). Третья компонента показала связь между джиттером (0,604), ошибками в заданиях на память (-0,697) и тревожностью (0,625).

Таблица 14. Результаты факторного анализа данных (матрица повернутых компонент) акустического анализа речи и данных по тестам РДО Координация, РДО Экстраполяция и теста Чёт-нечет (выполнение простых математических операций), а также показателей опросника тревожности в рамках эксперимента 3-суточная «сухая» иммерсия с участием женщин, без средств профилактики.

Матрица компонент^а

	Компонента				
	1	2	3	4	5
ЧОТсреднее	-,219	,848	,308	,195	,027
ЧОТмедиан	,341	,739	,437	,148	-,129
Громкость	-,717	,433	-,106	,078	,001
Голосовые импульсы	-,798	,413	,156	-,253	-,151
Процент пауз	,760	-,004	,040	,456	,243
Джиттер	-,341	-,312	,604	-,191	,158
Шиммер	,189	-,743	,402	-,060	,033
РДОкоординация	,508	,350	-,121	-,349	,612
Ошибки Точности					
РДОкоординация	,636	,255	-,235	-,472	,355
Лабильность					
РДОэкстраполяция	,794	-,015	-,120	-,203	-,426
Ошибки Точности					
РДОэкстраполяция	,752	,086	-,128	-,174	-,514
Лабильность					
ЧетНечет_Время	,851	,240	,261	-,003	-,002
Память_Ошибки	,101	-,104	-,454	,688	,189
сложных фигур					
Тревожность	,493	,038	,625	,301	-,066
ЧетНечет Ошибки	,024	,198	-,697	,043	-,175
Метод выделения: Анализ методом главных компонент.					
а. Извлеченных компонент: 5					

Чтобы уточнить полученные связи внутри компонент, нами был проведён дополнительный корреляционный анализ (см. табл. 15).

Проведенное исследование выявило значимые отрицательные корреляции ($p < 0,01$) между такими речевыми показателями, как громкость и количество голосовых импульсов, и точностью и лабильностью при выполнении «РДО Экстраполяции», а также временем выполнения простых математических уравнений. Также были отмечены достоверные положительные корреляции ($p < 0,01$) между количеством пауз в речи и точностью и лабильностью при выполнении «РДО Экстраполяции», а также временем выполнения

простых математических операций. На уровне тенденций число пауз в речи коррелировало с ошибками в заданиях на память ($p=0,09$). Аналогичные результаты были получены в двух экспериментах с участием мужчин, что может говорить об универсальности данной закономерности.

Существенным отличием женской выборки стала положительная (а не отрицательная, как у мужчин) корреляция между количеством пауз в речи и временем решения математических уравнений. Отличием от предыдущих экспериментов, проведённых с участием мужчин, также стала корреляция данных о воспринимаемой тревожности с результатами объективного метода измерения психофизиологического состояния – акустическим анализом характеристик речи (см. табл. 16). Уровень тревожности положительно коррелировал с числом пауз в речи ($p<0,05$) и отрицательно – с числом голосовых импульсов ($p<0,05$) (т.е. с общей речепродукцией).

Таблица 15. Корреляционные связи между акустическими характеристиками речи и результатами сенсомоторных и когнитивных тестов в рамках эксперимента 3-суточная «сухая» иммерсия с участием женщин, без средств профилактики.

		РДО экстраполяция Ошибки точности	РДО экстраполяция Лабильность	Чет-Нечет Время
Громкость	Корреляция Пирсона	-,569**	-,446**	-,518**
	Знч.(2- сторон)	,000	,006	,001
	N	36	36	36
Голосовые импульсы	Корреляция Пирсона	-,526**	-,465**	-,516**
	Знч.(2- сторон)	,001	,004	,001

	N	36	36	36
Паузы в речи,%	Корреляция Пирсона	,399*	,362*	,618**
	Знч.(2- сторон)	,016	,030	,000
	N	36	36	36
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).				
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).				

Таблица 16. Корреляционные связи между акустическими характеристиками речи и ситуативной тревожностью в рамках эксперимента 3-суточная «сухая» иммерсия с участием женщин, без средств профилактики.

		Голосовые импульсы	Паузы в речи, %
Тревожность	Корреляция Пирсона	-,331*	,453**
	Знч.(2-сторон)	,049	,006
	N	36	36
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).			
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).			

В эксперименте с **4-месячной изоляцией SIRIUS** также было проведено сопоставление результатов акустического анализа речи с результатами анализа данных когнитивных и сенсомоторных тестов (данные предоставлены Федяй С.О.) (см. табл. 17). Применялся корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона).

Таблица 17. Корреляционные связи между акустическими характеристиками речи и результатами сенсомоторных и когнитивных тестов в рамках 4-месячного изоляционного эксперимента с участием обследуемых обоих полов.

		Корреляции				
		РДО координаци я Ошибки точности	РДО координаци я Лабильност ь	РДО экстраполяц ия Ошибки точности	РДО экстрапол яция Лабильнос ть	Чет- Нечет Время
Громкост ь	Корреляци я Пирсона			-,145**	-,109*	,189**
	Знч.(2- сторон)			,006	,039	,000
	N			363	363	363
ЧОТ средн	Корреляци я Пирсона	,361**	,299**	,383**	,372**	-,261**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	362	362	363	363	363
ЧОТ медиан	Корреляци я Пирсона	,360**	,275**	,360**	,354**	-,296**
	Знч.(2- сторон)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	362	362	363	363	363
Голосовы е импульс ы	Корреляци я Пирсона	,241**	,156**	,309**	,286**	-,304**
	Знч.(2- сторон)	,000	,003	,000	,000	,000
	N	362	362	363	363	363
Паузы	Корреляци я Пирсона	,114*	,138**			
	Знч.(2- сторон)	,030	,008			
	N	362	362			
Шиммер	Корреляци я Пирсона			,236**	,197**	-,261**
	Знч.(2- сторон)			,000	,000	,000

	N			363	363	363
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).						
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).						

В 14-суточном изоляционном эксперименте «ЭСКИЗ» были обнаружены достоверные связи между показателем ситуативной тревожности (по опроснику STAI Спилбергера) и акустическими параметрами речевого сигнала (см. табл. 18). В периоды повышенной тревожности испытуемые говорили тише, делали больше пауз, а в их голосе отмечалась большая вариабельность в амплитуде (шиммер-эффект).

Было обнаружено, что субъективно воспринимаемая тревожность коррелировала с когнитивной работоспособностью: в более тревожном состоянии обследуемые медленнее принимали решение и делали больше ошибок в математическом счете (задание Чёт-нечет); также возрастала и лабильность при выполнении сенсомоторного теста РДО и увеличивалось количество ошибочных попаданий (см. табл. 18).

Таблица 18. Результаты корреляционного анализа данных (коэффициент корреляции Пирсона): сопоставление ситуативной тревожности и акустических характеристик речи и когнитивной работоспособности в рамках 14-суточного изоляционного эксперимента с участием обследуемых обоих полов..

Корреляции								
		Громкость	Паузы	Шиммер	РДО координата Лабильность	РДО экстраполяция Ошибки точности	Чет- Нечет Время	Чет- Нечет Ошибки
Тревожность	Корреляция Пирсона	-,391**	,270**	,359**	,231*	,353**	,328*	,245*
	Знч.(2-сторон)	,000	,006	,000	,019	,000	,001	,013
	N	101	101	101	102	102	102	102
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).								

С другой стороны, сниженная ЧОТ и меньший процент шиммер-эффекта, более высокая громкость голоса и большее количество голосовых импульсов коррелировали с более быстрым выполнением простых математических операций, а также на уровне тенденций – с меньшим количеством ошибок в них (см. табл. 19). Громкость голоса также отрицательно коррелировала с количеством ошибок и лабильностью при выполнении сенсомоторного теста РДО.

Таблица 19. Результаты корреляционного анализа данных (коэффициент корреляции Пирсона): сопоставление акустических характеристик речи и когнитивной работоспособности в рамках 14-суточного изоляционного эксперимента с участием обследуемых обоих полов.

Корреляции

		РДО экстраполяц ия Ошибки Точности	РДО экстраполяц ия Лабильность	Чет- Нечет Время	Чет-Нечет Ошибки
ЧОТ средняя	Корреляц ия Пирсона			-,274**	
	Знч.(2- сторон)			,005	
	N			101	
ЧОТ медианная	Корреляц ия Пирсона			-,267**	
	Знч.(2- сторон)			,007	
	N			101	
Громкость	Корреляц ия Пирсона	-,268**	-,264**	-,328**	-,192
	Знч.(2- сторон)	,007	,008	,001	,055
	N	101	101	101	101
Количество голосовых импульсов	Корреляц ия Пирсона			-,256**	
	Знч.(2- сторон)			,010	
	N			101	

Шиммер	Корреляция Пирсона			,431**	
	Знч.(2-сторон)			,000	
	N			101	
**. Корреляция значима на уровне 0.01 (2-сторон.).					
*. Корреляция значима на уровне 0.05 (2-сторон.).					

Данные исследования показали, что существует взаимосвязь между психофизиологическим состоянием человека и эффективностью его когнитивной деятельности, что может быть использовано для самодиагностики (Nishimura et al., 2009).

Повышение громкости голоса, увеличение количества голосовых импульсов, пониженный уровень ситуативной тревожности и снижение шиммер-эффекта можно интерпретировать как умеренно возбужденное состояние, при котором продуктивность человека оптимальна. Некоторые исследователи описывают это состояние как уровень ситуативной тревожности, который стимулирует и помогает решать задачи с меньшим использованием внутренних ресурсов (Smith et al., 2001; Hadwin et al., 2005). Такое состояние соотносится с уменьшением ошибок и увеличением скорости реакции при выполнении операторской деятельности. Те же акустические изменения голоса обратно коррелировали с состоянием повышенной ситуативной тревожности.

С другой стороны, состояние, при котором наблюдалось повышение частоты основного тона речи и шиммер-эффекта, а также снижение громкости и количества голосовых импульсов, может быть интерпретировано как астеническое, тревожное. Данному состоянию соответствовали замедленная реакция и повышенное число ошибок при математических вычислениях, а также менее точное выполнение сенсомоторных задач. Вероятно, в дни, когда обследуемые отмечали у себя возросшую ситуативную тревожность, они ниже оценивали собственные внутренние ресурсы, и привычные задачи казались им более трудоёмкими (Murray et al., 2003; Robinson et al., 2013).

Было также обнаружено, что изменение обстановки и выполнение новых, умеренно сложных задач благотворно влияют на психологическое самочувствие и когнитивную работоспособность, что соответствует другим литературным данным (Massoni, 2014; Young et al., 2022).

3.7. Выявление устойчивых паттернов акустических и когнитивных параметров с целью прогнозирования когнитивной работоспособности в различных условиях

Для того, чтобы выяснить, возможно ли с помощью параметров акустических характеристик речи спрогнозировать эффективность когнитивной деятельности, была применена модель множественной регрессии и проведён дисперсионный анализ полученных уравнений.

Для этого полученные данные акустического анализа и результатов когнитивных тестов были сгруппированы с учётом:

1. типа экспериментального воздействия: исследования в «сухой» иммерсии и в изоляционных экспериментах;
2. половой принадлежности обследуемых.

Это представляется логичным в связи с разными условиями звукозаписи (различные виды стационарного шума, а также разное положение тела обследуемых – лёжа в ванне и сидя за столом), а также физической спецификой акустического сигнала женщин и мужчин (более высокая ЧОТ и количество голосовых импульсов у женщин в сравнении с мужчинами (Huang et al., 2021)).

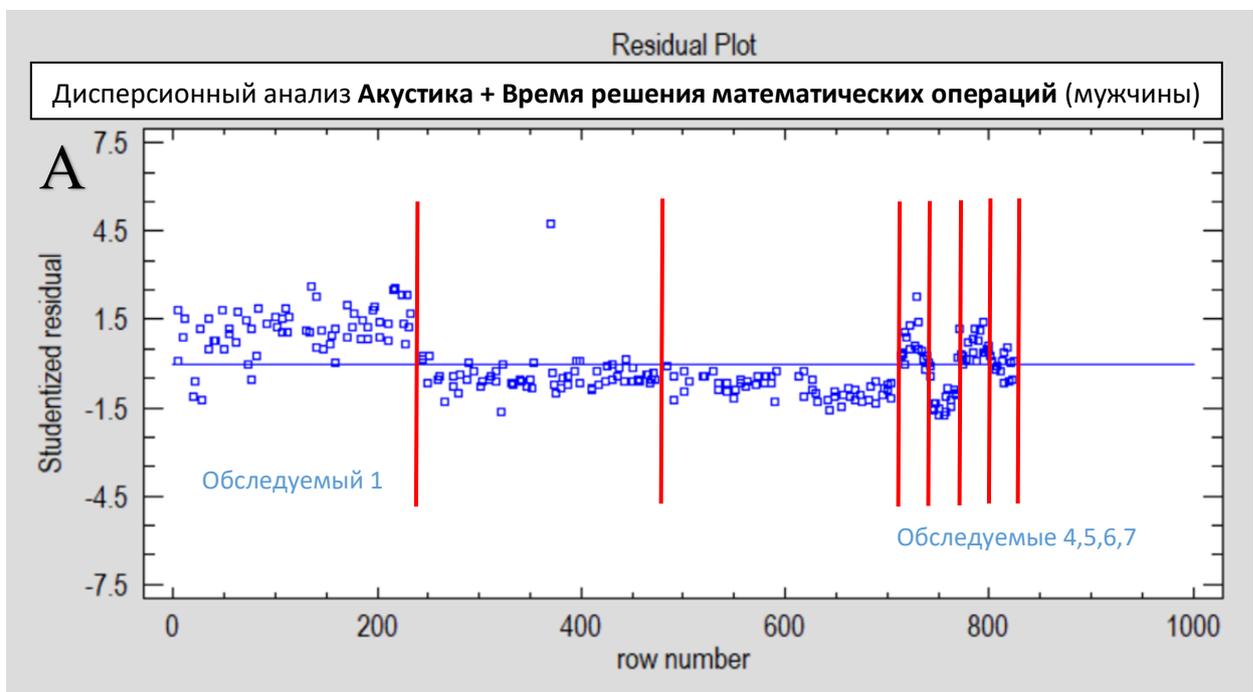
Таким образом получилось четыре прогностические модели:

- для мужчин в условиях «сухой» иммерсии (по результатам 3 экспериментов, 23 человека, $n=678$),
- для женщин в условиях «сухой» иммерсии (результаты одного 3-суточного эксперимента, 6 человек, $n=42$),
- для мужчин в условиях изоляционного эксперимента (4-месячный и 14-суточный эксперименты, 7 человек, $n=832$),
- для женщин в условиях изоляционного эксперимента (4-месячный и 14-суточный эксперименты, 5 человек, $n=776$).

Проведённый дисперсионный анализ и использование множественной регрессии показали возможность построения соответствующих прогностических моделей.

Дисперсионная модель показала, что уравнения множественной регрессии позволяют делать достоверный прогноз во всех случаях применения: нормированная по Стьюденту сигма регрессии для разных обследуемых в разных экспериментах не превышала стандартного отклонения 1,5.

В дополнение к этому, были выявлены индивидуальные паттерны распределения показателей относительно математического ожидания, характерные для части обследуемых обоего пола и позволяющие уточнить прогностическую модель для каждого индивидуального случая. Так, у обследуемого 1 в эксперименте с 4-месячной изоляцией разброс среднеквадратического отклонения параметров выполнения заданий, связанных со скоростью реакции («РДО экстраполяция» и «Время решения простых математических операций») по своей величине отчётливо выделялся в сравнении с показателями других членов группы (см. рис. 35, А). Таким образом, в 4-месячном и 14-суточном изоляционных экспериментах были выявлены индивидуальный разброс и динамика паттернов распределения этих величин у всех обследуемых (см. рис. 35, А и Б).



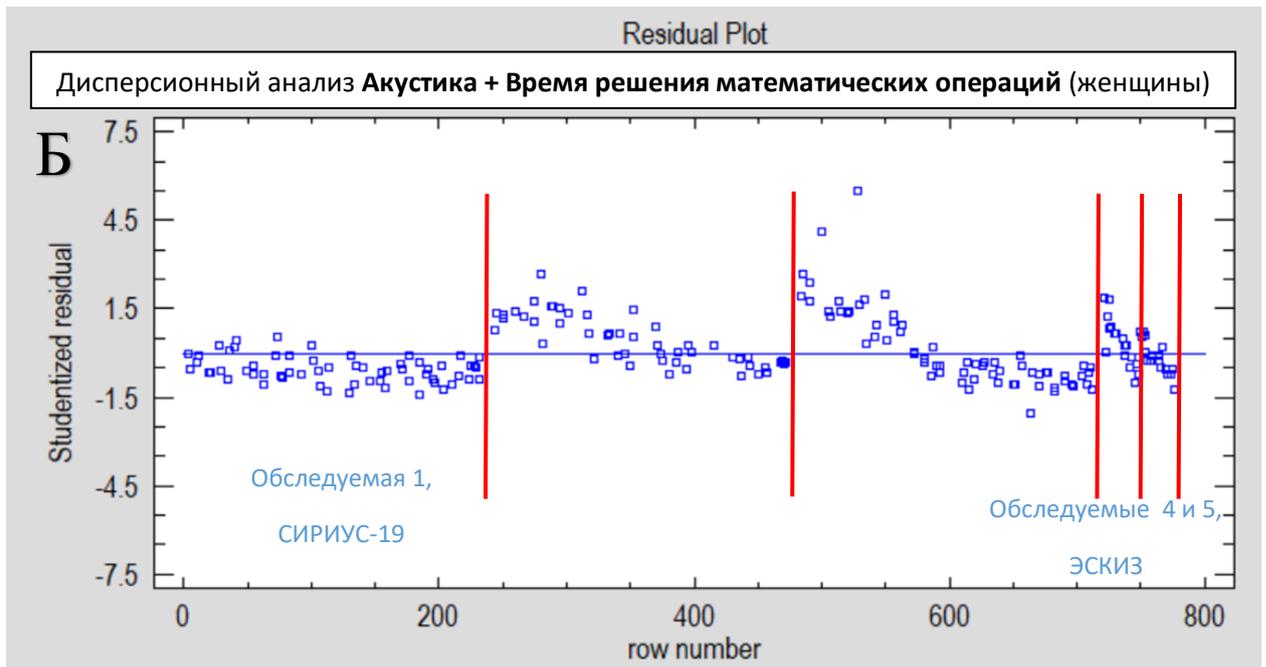


Рисунок 35. Индивидуальные паттерны показателей математического ожидания в дисперсионной модели «Акустические паттерны и время решения простых математических операций» для обследуемых в изоляционных экспериментах (4-месячный эксперимент «СИРИУС» и 14-суточный эксперимент «ЭСКИЗ»): А – с обследуемыми-мужчинами, Б – с обследуемыми-женщинами.

В то же время, не удалось установить универсальных акустических паттернов (т.е. групп акустических характеристик, влияющих на когнитивную работоспособность). В разных экспериментальных условиях у групп, разделённых по половому признаку, они были различны.

Однако, в большинстве проведённых исследований наибольшим прогностическим значением в группе акустических параметров обладали процент шиммер-эффекта (вариабельности акустического сигнала по амплитуде) и процент пауз в речи. Помимо этого, в экспериментах с «сухой» иммерсией с участием мужчин-обследуемых к указанным акустическим показателям добавлялись громкость голоса и процент джиттер-эффекта (вариабельности акустического сигнала по частоте).

Во всех экспериментах наблюдалась обратная связь величины шиммер-эффекта и параметров когнитивной работоспособности: снижение шиммера соответствовало

повышению числа ошибок в сенсомоторных тестах и времени на выполнение математических операций.

Уточнить описание психофизиологического состояния, проявляющегося через характеристики когнитивной работоспособности обследуемых, позволяют прочие акустические характеристики речи: средняя и медианная ЧОТ, количество голосовых импульсов, а также циркадная вариабельность акустических характеристик (утро-вечер):

1. В экспериментах с «сухой» иммерсией у обследуемых-мужчин предикторами менее точных ответов в сенсомоторных тестах был голос с повышенным процентом джиттера и сниженным процентом шиммера, а также относительно низкими ЧОТ и громкостью, низким процентом пауз и количеством голосовых импульсов. Низкие показатели процента пауз и количества голосовых импульсов также были предикторами более долгого выполнения простых математических операций. Пониженная громкость речи и повышенная медианная ЧОТ были также предикторами повышенной тревожности.

2. В эксперименте с 3-суточной «сухой» иммерсией у обследуемых-женщин предикторами менее точных ответов в сенсомоторных тестах был голос со сниженным процентом шиммера, «выравненной» ЧОТ (средняя ЧОТ показывала отрицательную связь паттерна с параметром, а медианная ЧОТ – положительную, что можно интерпретировать как увеличение медианы при уменьшении средних значений тонов, и, как следствие, более однородный частотный «ландшафт»), пониженной громкостью и увеличенным процентом пауз в речи. Предикторами более долгого решения простых математических операций были повышение процента пауз, увеличение медианной и уменьшение средней ЧОТ. Причём повышенная медианная и пониженная средняя ЧОТ также являлись предикторами повышенной тревожности в данном эксперименте.

3. В изоляционных экспериментах у обследуемых-мужчин предикторами большего времени принятия решений, а также большего количества сенсомоторных и когнитивных ошибок, был сниженный процент шиммера, повышенная громкость, «скачкообразное» изменение ЧОТ (средняя ЧОТ показывала положительную связь паттерна с параметром, а медианная ЧОТ – отрицательную, что можно интерпретировать как увеличение средних при уменьшении медианных значений тонов, и, как следствие, более разнообразный и менее однородный частотный «ландшафт»). Предиктором большего количества ошибок при решении простых математических операций была повышенная средняя ЧОТ. Повышенный процент шиммера в речи и повышение медианной ЧОТ были предикторами повышенной тревожности.

4. У обследуемых-женщин в аналогичных условиях предикторами худшей когнитивной работоспособности были снижение шиммера, повышение медианной ЧОТ и влияние циркадных ритмов (повышение количества сенсомоторных ошибок и времени выполнения математических операций наблюдалось преимущественно в утренние часы). Предикторами более долгого решения простых математических операций были сниженный процент шиммера, утренние часы выполнения методики, а также повышенная медианная ЧОТ. Повышенный процент пауз в речи был предиктором повышенной тревожности.

Акустические паттерны, ведущим показателем которых является процент пауз в речи, различным образом сочетаются с таким когнитивным показателем, как время принятия решений у обследуемых женского и мужского пола. Возрастающий процент пауз в речи у обследуемых женского пола в экспериментах с «сухой» иммерсией указывал на увеличение времени принятия решения при ответах на математические задачи, в то время как у мужчин в условиях «сухой» иммерсии и в изоляционных экспериментах картина была противоположной (см. табл. 20).

Таблица 20. Значение процента пауз в речи в акустических паттернах для прогнозирования времени принятия решения при простых математических операциях в разных экспериментальных воздействиях с обследуемыми женского и мужского пола.

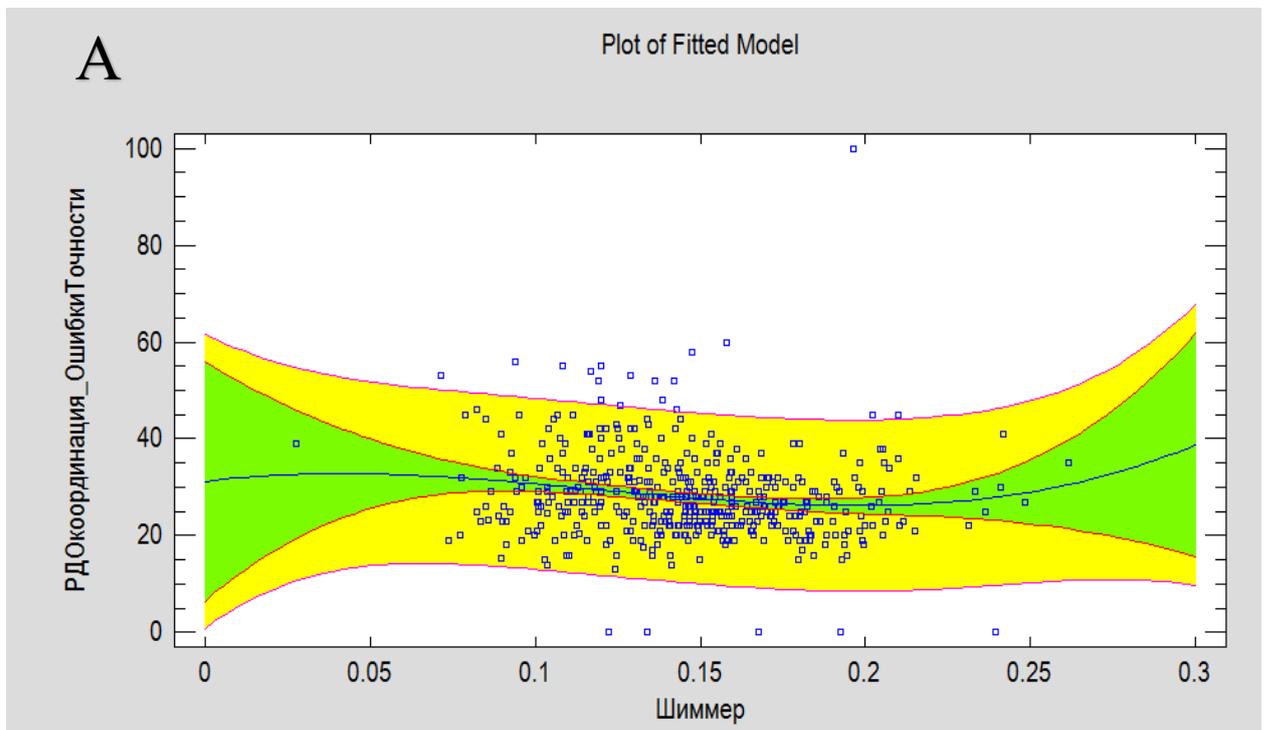
Время принятия решений при математических вычислениях								
3-суточная «сухая» иммерсия - Женщины			«Сухие» иммерсии - Мужчины			Изоляции - Мужчины		
	Estimate	P- Value		Estimate	P- Value		Estimate	P- Value
Паузы	1483,9	0,004	Паузы	-535	0,001	Паузы	-2479,4	0
ЧОТ медианная	23	0	Голосовые импульсы	10,2	0,01	Громкость	16,8	0,0003
ЧОТ средняя	-11,9	3				ЧОТ средняя	7,1	0
						ЧОТ медианная	-3	0,03
						Голосовые импульсы	-1,9	0

Однако, возможно ли было бы перенести полученные в данных экспериментах закономерности на дальнейшие исследования, связанные с прогнозированием когнитивной работоспособности оператора?

Для ответа на данный вопрос мы проанализировали с помощью модели множественной регрессии и дисперсионного анализа акустические и когнитивные данные обследуемых, разделённых по половому признаку, но без деления на экспериментальные условия (для примера см. табл. 21). Затем проанализировали полученные паттерны на предмет связи отдельных акустических показателей с показателями отдельных когнитивных функций (для примера см. рис. 36).

Таблица 21. Акустический паттерн для прогнозирования показателя количества ошибок при выполнении теста РДО Координация у обследуемых-мужчин во всех проведённых экспериментах («сухая» иммерсия и изоляционные эксперименты).

	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-0.293995	9.03716	-0.0325318	0.9741
ЧОТ медианная	0.133623	0.0452588	2.95241	0.0036
Шиммер	92.9348	28.4936	3.26161	0.0013



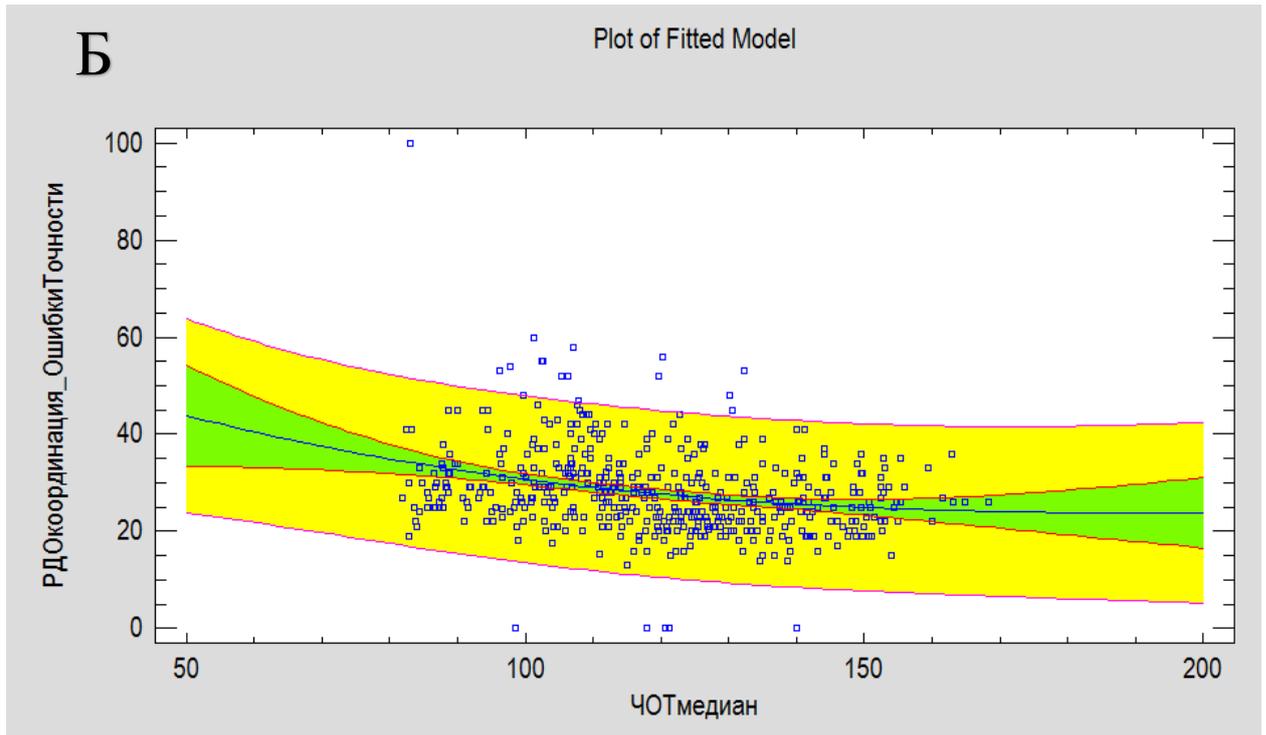


Рисунок 36 (А и Б). Нелинейная связь между ошибками в сенсомоторном тесте РДО Координация и акустическими показателями (А – с шиммер-эффектом, Б – с медианной ЧОТ) у обследуемых-мужчин во всех проведённых экспериментах («сухая» иммерсия и изоляционные эксперименты).

Полученные связи, даже с учётом значимости показателей дисперсионного анализа ($p < 0,001$), обнаруживали высокую нелинейность. Это говорит о том, что прогностическая значимость акустических паттернов, наблюдаемая на предыдущем этапе анализа, была возможна только в контексте нелинейной внутренней связи между показателями акустики речи в представленных экспериментах. Для прогнозирования когнитивной работоспособности оператора вне зависимости от условий деятельности и других переменных необходимо создание более совершенных нелинейных математических моделей, которые помогут выявить повторяющиеся закономерности в контуре «голос – работоспособность».

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ

Акустический анализ речи представляет собой эффективный метод оценки психологического и физиологического состояния человека – благодаря этому он широко применяется как в сфере медицины, так и в научных исследованиях (Никонов, 1985; Морозов, 1998; Картавенко, 2005; Потапова и др., 2008; Baykaner et al., 2015; Pohjalainen et al., 2016; Slavich et al., 2019; Huang et al., 2021; Despotovic et al., 2022). Существенный вклад в изучение акустики речи был внесён исследователями, оценивающими патологии и реабилитацию голосового аппарата после хирургических операций (Hirano et al., 1981; Zwetsch et al., 2006; Kunin et al., 2020; Jalalinajafabadi et al., 2021 и др.). Изучение речи имеет огромное значение для разработки алгоритмов, используемых для автоматизированного прогнозирования работоспособности и безопасности людей, управляющих транспортом (Begum, 2013; Baykaner et al., 2015).

Тем не менее, на данный момент отсутствует единая система интерпретации получаемых количественных данных акустического анализа с позиции оценки психофизиологического состояния, что можно связать с различиями в методологиях исследований (Вартанов, 2013; Dong et al., 2015). В частности, ряд исследователей обращается к записям профессиональных дикторов и актёров, имитирующих различные эмоции; в различных исследованиях анализируются аудиозаписи как в ситуациях острого (индуцированного или естественного) стресса, так и записи при рутинном выполнении профессиональной деятельности. Особую ценность представляют мета-обзоры, объединяющие и систематизирующие результаты исследований, проводившихся в различных экспериментальных условиях (Juslin, Laukka, 2003; Giddens et al., 2013; Van Puyvelde et al., 2018; Hildebrand et al., 2020; Karpen et al., 2022).

В рамках представленной работы мы провели исследования акустики речи в 5 различных условиях её регистрации (без экспериментального воздействия и с воздействиями угловых ускорений, повышенного шума, моделируемой «невесомости», длительной изоляции) и продемонстрировали наличие связей между изменениями психофизиологического состояния человека-оператора и физическими параметрами его произвольной устной речи. Во всех 8 проведённых экспериментах с воздействием моделируемых факторов космического полёта были зарегистрированы изменения всех основных акустических параметров речи, соответствовавшие изменениям физиологических показателей и характеристик когнитивной работоспособности.

В условиях без экспериментального воздействия предложенный метод акустического анализа речи продемонстрировал высокую надёжность-согласованность. Это объясняется однородностью условий записи, а также неизменностью антропометрических и физиологических особенностей обследуемых в ходе апробации (каждый обследуемый делал 3 записи с разность в 2-3 часа в одних и тех же рабочих условиях). Проведённая оценка по коэффициенту альфа Кронбаха выявила наиболее надёжные показатели: ЧОТ, громкость, количество голосовых импульсов, процент пауз, джиттер- и шиммер- эффекты. Данные параметры речевого сигнала отмечались как надёжные большинством отечественных и зарубежных исследователей акустики (Картавенко, 2005; Johannes et al., 2000; Перервенко, 2009; Вауканер et al., 2015; Van Puuyvelde et al., 2018).

Эксперименты с интенсивным шумовым воздействием и кратковременным воздействием угловых ускорений показали, что, даже без использования активного шумоподавления, методика позволяет анализировать характеристики голоса человека в случае наличия стационарного шума (например, от работающих механизмов и приборов). Наименее подверженными шумовому воздействию, согласно полученным данным, являются такие параметры, как процент пауз в речи, громкость, шиммер и джиттер. Джиттер и шиммер могут быть особенно информативными акустическими показателями, так как извлекаются из флуктуаций f_0 (ЧОТ) и регистрируются относительно независимо от просодических паттернов (Rothkrantz et al., 2004; Farrús, 2007). Это также означает, что эти акустические показатели не смешиваются со стационарными шумами окружения, и на них не влияет качество канала передачи и расположение микрофона (Farrús, 2007), что было ранее показано при исследовании аудиозаписей лётчиков в кабине самолёта-истребителя (Gopalan, 2000). Ввиду адаптации говорящего к зашумлённости путём повышения громкости голоса, может отмечаться изменение характеристик речи в сравнении с фоновыми условиями. Ряд исследователей отмечает утомление голосового аппарата при длительном говорении громким голосом (в частности, у преподавателей), что может выражаться в охриплости и, как следствие, в изменении частотных характеристик голоса (Teixeira et al., 2011; Jalali-najafabadi et al., 2021). Помимо этого, при адаптации к шуму возможны негативные эмоциональные реакции, проявления которых в акустике речи (повышение ЧОТ и громкости) могут быть интерпретированы как признаки «возбуждённого» состояния. Они могут быть связаны не только с отсутствием внутренних ресурсов, но и с нежеланием обследуемых говорить, «перекрикивая» шум. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших исследований в схожих условиях для

определения общих акустических паттернов и изучения их связи с другими психофизиологическими показателями.

Данные 6 экспериментов с одинаковым дизайном исследования (длительное воздействие моделируемых факторов КП, утренние и вечерние аудиозаписи, утренние и вечерние сеансы когнитивных тестов и опросника STAI) были проанализированы с целью выявления общих акустических паттернов, которые могли бы служить целям прогнозирования когнитивной работоспособности и ситуативной тревожности обследуемых под воздействием различных факторов КП. Полученные результаты акустического анализа и когнитивных тестов были сгруппированы с учётом типа экспериментального воздействия (исследования в «сухой» иммерсии и в изоляционных экспериментах) и половой принадлежности обследуемых. Были описаны картины «возбуждённого» и «астенического» состояний, которые отражались как в физиологических данных медицинского контроля (ЧСС, АД), так и в показателях акустики речи и когнитивной работоспособности.

Анализ данных акустики речи и медицинского контроля в проведённых экспериментах позволил установить значимые корреляции между рядом акустических и физиологических показателей. В частности, с АД положительно коррелировала громкость речи, и отрицательно – процент шиммера (вариабельность акустического сигнала по амплитуде). Похожие закономерности подчёркивает в своём мета-обзоре Giddens с соавторами (2013). Также нами были обнаружены различия между данными обследуемых женского и мужского пола. Так, в 4-месячном изоляционном эксперименте у женщин с ЧСС положительно коррелировали ЧОТ и голосовые импульсы, и отрицательно – процент пауз в речи и джиттера (вариабельность акустического сигнала по частоте). У обследуемых-мужчин картина была противоположной: ЧОТ, голосовые импульсы и громкость голоса имели обратную корреляцию с ЧСС, а процент шиммера – положительно. Полученные результаты во многом пересекаются с данными, полученными Karpen et al. (2022).

Найденные взаимосвязи могут указывать на возможность оценки функционального состояния человека-оператора не только через данные медицинского контроля, но также с помощью анализа его устной речи (Slavich et al., 2019). Более того – подобный подход к анализу психофизиологического состояния может тонко выявлять разницу в процессах адаптации обследуемых к различным условиям, в том числе, обусловленную индивидуальными и половыми различиями (Giddens et al., 2013; Huang et al., 2019; Duan et al., 2021).

Сравнение динамики акустических показателей и данных самооценочных психологических тестов позволило выявить наличие связи между ними. В большинстве проведённых исследований были получены значимые корреляционные связи между параметрами голоса и баллами по методикам POMS и STAI – наиболее распространённым опросникам настроения, используемым исследователями в том числе для интерпретации акустики речи (Mendoza et al., 1998; Park et al., 2011; Giddens et al., 2013). Несмотря на то, что установить значимые корреляционные связи между отдельными акустическими характеристиками и показателями самооценочных опросников настроения удавалось не всегда, они играли важную уточняющую роль при описании динамики психологического самочувствия обследуемых – в особенности, в ходе анализа динамики акустических параметров речи в начальной и конечной фазах острого периода адаптации. Одна из причин, по которой опросники психологического состояния не всегда коррелировали с исследуемыми показателями акустики речи, заключается в субъективности метода, неизбежно влекущей социально-желательные ответы у некоторых обследуемых и низкую дифференциацию эмоциональных состояний при длительном выполнении (Матвеев, Самохвалова, 2017; Kanas, 2023). Статистический анализ, проведённый методами множественной регрессии и дисперсионного анализа, позволил иначе подойти к прогнозированию состояния человека на основе данных акустики речи: совокупности физических характеристик голоса почти всегда были взаимосвязаны с ситуативной тревожностью, измеренной с помощью автоматизированного опросника STAI. Как правило, в полученных акустических паттернах с повышенной тревожностью прямо была связана ЧОТ. В отдельных случаях её дополняли возрастающий процент пауз в речи, снижение громкости и повышение процента шиммера. Данные закономерности ранее обнаруживались в работах Mendoza et al. (1998) и Park et al. (2011): исследовательскими коллективами были обнаружены прямые корреляции ситуативной тревожности (и «высокого уровня напряжения» по POMS) и ЧОТ, а также обратные корреляции с джиттер- и шиммер-эффектом. Повышение ЧОТ в ответ на высокую ситуативную тревожность, отмеченную самими обследуемыми, фиксировали в своих исследованиях также Tolkmitt et al. (1986) и Brenner et al. (1994). Стоит отметить, что именно ЧОТ в представленных работах была центральным показателем тревожности, остальные же акустические характеристики (джиттер, шиммер, расширенный диапазон ЧОТ) служили исследователям для дифференциации реакций участников эксперимента по вовлечённости и личностным и половым особенностям.

Сравнение акустических параметров речи с показателями эмоциональной экспрессии, полученными с помощью ПО FaceReader, показали наличие значимых взаимосвязей во всех экспериментах, где в утренних и вечерних самоотчётах обследуемых проводилась параллельная аудио- и видео-запись. В 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин значимым являлся только один показатель эмоционального состояния – нейтральное выражение лица (Neutral). С ним положительно коррелировал процент пауз и отрицательно – количество голосовых импульсов. Интересно отметить, что эти же акустические показатели были достоверно взаимосвязаны с эмоциями субъективно воспринимаемой тревоги (STAI и POMS) и растерянности (POMS). Такой комплекс корреляций может быть описан как лёгкая форма стресс-реакции «замирания» – поведения, при котором наблюдается снижение речевой и мимической активности в ответ на переживание острого состояния психофизиологической напряжённости. Некоторые исследователи отмечали аналогичные реакции в связи с социальным стрессом (социальной тревожностью): под влиянием нарастающей тревоги увеличивается процент пауз в произвольной речи (Laukka et al., 2008 г.; Buchanan et al., 2014). Наблюдаемые нами реакции следует рассматривать в контексте уникальности проведённого эксперимента: будучи первым в своём роде, он потребовал от обследуемых-женщин максимум самообладания при том, что длительность экспериментального воздействия соответствовала острому периоду адаптации к эффектам безопорности и микрогравитации. В 4-месячном изоляционном эксперименте удалось провести большой объём исследований, а физиологическое влияние экспериментальных условий на состояние и самочувствие человека было не столь высоким, что позволило собрать больше данных об эмоциональной экспрессии во время записи отчётов для ЦУП. Статистический анализ эмоциональной экспрессии в мимике с показателями акустики речи обнаружил сходства в выражении эмоций грусти и страха у мужчин (повышенная громкость и пониженные ЧОТ, количество голосовых импульсов, процент пауз, джиттера и шиммера) и злости, страха и отвращения у женщин (повышенная громкость, ЧОТ, процент пауз и джиттера и сниженное количество голосовых импульсов). Полученные результаты соответствуют представлениям об акустическом «портрете» данных эмоциональных состояний (Juslin, Laukka, 2003; Potapova et al., 2014; Buchanan et al., 2014; Huang et al., 2021), а более надёжная связь акустических характеристик речи и негативных эмоций в мимике была ранее показана при исследовании в клинических условиях коллективом, также работавшим с ПО Praat и FaceReader (Villanueva-Valle et al., 2021). Помимо этого, были получены значимые корреляции акустических показателей с другими показателями эмоциональной экспрессии, что может быть использовано при

дальнейшем изучении самоотчётов, записанных не только с помощью аудио-, но и видео-записи.

Несмотря на отсутствие универсальных для разных экспериментальных условий акустических паттернов, имеющих прогностическое значение при оценке когнитивной работоспособности, была выявлена общая закономерность, в соответствии с которой ведущими в группе изучаемых параметров, как правило, являлись ЧОТ, шиммер и процент пауз в речи. Прочие акустические характеристики, а также циркадная вариабельность утро/вечер дополняли и уточняли динамику ведущих показателей при описании картины психофизиологического состояния человека.

Несмотря на распространённость использования ЧОТ как диагностической характеристики (Buchanan et al., 2014; Pisanski et al, 2018; Karpen et al., 2022), проведённые нами исследования показали неоднозначные результаты. В представленных экспериментах медианная и средняя ЧОТ, как правило, коррелировали с данными психофизиологических, когнитивных и психологических методик. Внутри акустических паттернов, полученных при общем статистическом анализе данных проведённых экспериментов, ЧОТ играет немаловажную роль – присутствуя в различных комбинациях с другими количественными характеристиками голоса, она устанавливает значимые, как прямые, так и обратные, взаимосвязи с изучаемыми параметрами психофизиологического состояния.

Так, в акустическом паттерне, отвечающем за прогнозирование когнитивной работоспособности обследуемых-мужчин в условиях «сухой» иммерсии, понижение ЧОТ указывало на большую вероятность ошибочного выполнения сенсомоторного теста РДО и математического счёта, а также большую вероятность обнаружения испытуемыми у себя тревожного состояния. С другой стороны, в условиях длительных изоляционных экспериментов ЧОТ у мужчин положительно была связана со временем принятия решений при математическом вычислении и при самооценке тревоги. В изоляционных экспериментах у женщин предиктором ошибок в сенсомоторных тестах была повышенная ЧОТ – и в то же время она предвещала лучшее выполнение математических задач.

Два других полученных акустических паттерна (для первой в мире «сухой» иммерсии с участием женщин и для мужчин-обследуемых в изоляционных экспериментах) обнаруживают специфические связи ЧОТ с когнитивной работоспособностью. Так, в 3-суточной иммерсии предиктором более долгого решения математических операций у испытуемых являлось то, что мы могли бы назвать «выровненной» ЧОТ: средняя ЧОТ показывала отрицательную связь паттерна с параметром, а медианная ЧОТ –

положительную, что можно интерпретировать как увеличение медианы при уменьшении средних значений тонов, и, как следствие, более однородный частотный «ландшафт». У мужчин-обследуемых в изоляционных экспериментах в связи с более долгим выполнением математических вычислений и худшим выполнением сенсомоторного теста РДО Экстраполяция (также связанного с внутренним временем) наблюдалась противоположная картина – «скачкообразное» изменение ЧОТ – что по аналогии с описанной выше закономерностью означает положительную взаимосвязь когнитивных параметров со средней ЧОТ и отрицательную – с медианной ЧОТ. При описании этого явления со стороны акустики можно говорить про повышение средней и уменьшение медианной ЧОТ, или менее однородное, изменчивое по тональности звучание.

Традиционно принято считать, что повышение или скачкообразное изменение ЧОТ является признаком высокого уровня стресса у человека-оператора (Картавенко, 2005). Ряд авторов указывали на повышение ЧОТ, громкости и скорости речи, а также увеличение ЧСС у военных лётчиков во время выполнения операторской деятельности с дополнительной умственной нагрузкой (задания на счёт, дихотическое прослушивание, визуальное отслеживание) (Brenner et al., 1979; Griffin et al., 1987), а также у лётчиков и авиадиспетчеров в моменты повышения рабочей нагрузки (Kuroda et al., 1976; Simonov et al., 1980).

Однако не во всех исследованиях признаком повышенного психоэмоционального и физического стресса было именно *повышение* ЧОТ. В работе Johannes et al., проведённой на космонавтах, было обнаружено два противоположных паттерна изменения ЧОТ и ЧСС. Приняв за ситуацию повышенного стресса стыковку в ручном режиме, авторы проанализировали акустические и физиологические показатели, и пришли к выводу, что один из трех космонавтов-мужчин продемонстрировал снижение ЧОТ во время стыковки, тогда как остальные два продемонстрировали повышение. Разницу в реакциях исследователи объяснили типом реактивности нервной системы человека: авторы предположили, что люди с возбудимой нервной системой (которые демонстрировали повышенную сердечно-сосудистую реакцию на стресс), демонстрировали небольшое понижение ЧОТ, в то время как люди с менее реактивным типом реагирования (у которых наблюдалось снижение тонуса и реакции вегетативной нервной системы) в условиях стресса демонстрировали значительное повышение ЧОТ (Johannes et al., 2000). Ещё одно исследование, проведённое в рамках расследования крушения самолёта, показало различную реакцию на происходящие события у первого и второго пилота – первый пилот реагировал на разворачивающуюся трагедию повышением ЧОТ, в то время как штурман

непосредственно перед аварией демонстрировал значительное понижение ЧОТ (Ruiz et al., 1996). Нами похожие результаты были получены во время записей переговоров с ЦУП испытателей, проходивших вращение на ЦКР – значительное повышение ЧОТ отмечалось у 5 испытателей перед началом более интенсивного этапа перегрузок, у 2 же ЧОТ незначительно понижался.

Большая часть противоречий, с которыми неизбежно сталкиваются исследователи акустических характеристик речи, может быть объяснена механизмами баланса системы активации человека, лежащими в основе высшей нервной деятельности. В зависимости от типов нагрузки и готовности к ней человека, его голос (как и работоспособность) будет различаться. Исследователи под руководством Van Puyvelde (2018) в своём мета-обзоре убедительно показали изменчивость ЧОТ (и его диапазона) и джиттера в зависимости от условий и состояний, в которых человек находился в момент записи. Повышение ЧОТ и его диапазона соотносилось авторами со снижением нисходящей регуляции (снижением влияния префронтальной коры), достигающем повышенной тревожности и потери самоконтроля в опасных для жизни ситуациях (авиакатастрофа и др.). Понижение ЧОТ, напротив, регистрировалось в ситуациях высокой когнитивной нагрузки и повышенного самоконтроля. Однако значительное понижение ЧОТ также могло указывать на истощение ресурсов и ситуацию, близкую к критической (такие результаты, например, были получены в экспериментах с гипоксией, депривацией сна и интоксикацией). Следует отметить, что в описанных условиях динамика джиттера была противоположной. Таким образом, значительное повышение или понижение ЧОТ, а также обратная динамика его вариабельности, джиттер-эффекта, указывают на состояние сильной тревоги в опасных для человека чрезвычайных ситуациях, и на недостаток существующих когнитивных ресурсов, чтобы справиться с ними (см. Рис. 37). По мнению авторов, средние значения акустических характеристик, проанализированные с помощью дополнительных физиологических и психологических методов, могут ответить на вопрос о ресурсе, который человек может использовать при изменении условий жизнедеятельности.

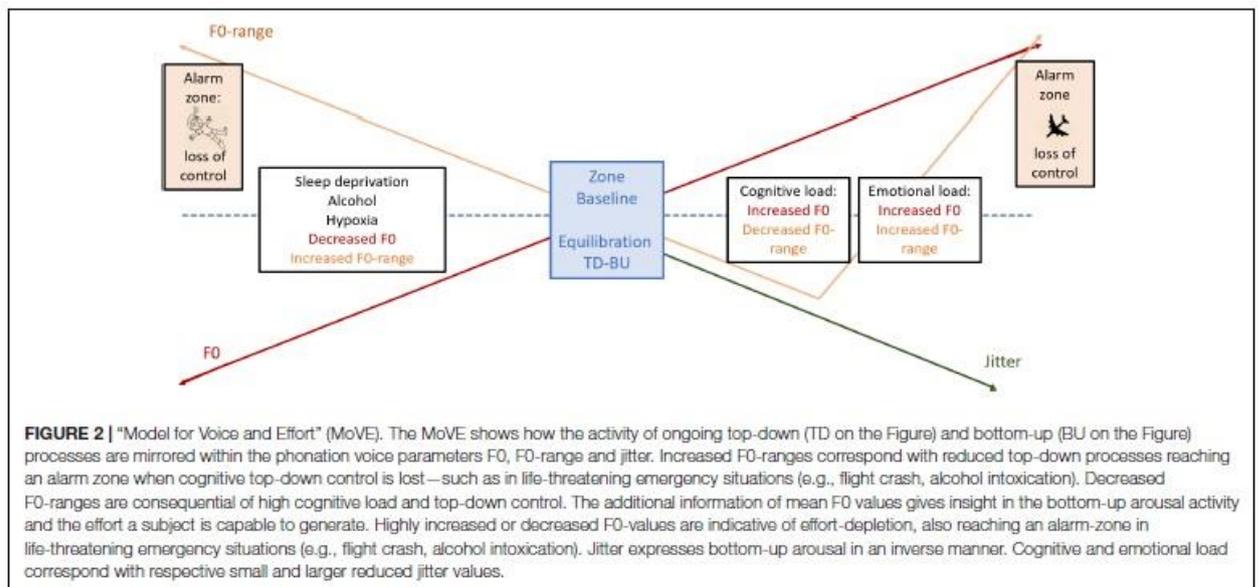


Рисунок 37. Изменение ЧОТ (F0), диапазона ЧОТ (F0-range) и джиттера (Jitter) в различных экстремальных условиях жизнедеятельности человека (Van Puyvelde et al., 2018).

На фоне данной неоднородности в интерпретации, особую ценность представляют полученные нами данные о значимости процента шиммера в голосе для оценки когнитивной работоспособности человека-оператора.

Шиммер-эффект во всех экспериментах коррелировал с когнитивной работоспособностью, определяемой по результатам когнитивного тестирования. А именно, была установлена обратная корреляция между процентом шиммера в голосе обследуемого и числом ошибок в сенсомоторных тестах, а также временем решения математических задач. Шиммер – это амплитудная нестабильность голосового сигнала (Тиунов, 2014). Значительное повышение процента шиммера в голосе, как правило, объясняется выраженной астенизацией человека или физиологическими нарушениями его в голосовом аппарате, что может быть вызвано хроническим стрессом, раздражением, усталостью или другими факторами (Teixeira et al., 2011). На основании этого можно было бы предположить, что голос с более высоким числом вариативных вибраций может указывать на недостаточную психофизиологическую активацию испытуемых, которая в свою очередь может отразиться на работоспособности. В то же время, в ряде исследований, посвящённых изучению физиологических показателей реакции на острый стресс, было показано, что речевой сигнал с более низким процентом шиммера может указывать на возбуждённое состояние испытуемых: в состоянии физиологического напряжения голосовых связок дополнительных вибраций становится меньше (Mendoza et al., 1998; Giddens et al., 2013;

Postma-Nilsenova et al., 2016; Van Puyvelde et al., 2018; Kappen et al., 2019). Так, в работе Kappen et al. (2022) была экспериментально установлена связь шиммера с ЧСС в моменты острого психосоциального стресса, что также ранее обнаруживалось в работах Orlikoff (1990). Van Puyvelde с соавторами (2018), ссылаясь на 4 исследования в большом мета-обзоре, указывают на снижение шиммера во время повышенной когнитивной нагрузки.

Как было показано в проведённых нами исследованиях, сниженная от индивидуальной нормы вариабельность голоса по амплитуде у обследуемых была сопряжена с большим числом сенсомоторных и когнитивных ошибок вне зависимости от типа экспериментального воздействия. Однако, прочие сопутствующие акустические характеристики в экспериментах с изоляцией и с «сухой» иммерсией имели различную динамику, ввиду чего затруднительно сделать однозначный вывод о влиянии тех или иных функциональных состояний на операторскую работоспособность. Выяснилось, что в различных условиях жизнедеятельности функциональные состояния «возбуждения» и «астении» играют разные роли: в экспериментах с «сухой» иммерсией предикторами большего количества ошибок в сенсомоторных и когнитивных тестах было состояние, определяемое через голос как «астеническое», в то время как в экспериментах с длительной изоляцией сниженную когнитивную работоспособность обследуемые показывали в состоянии, определяемом с помощью акустических характеристик речи как «возбуждённое».

Можно предположить, что в определённых условиях состояние повышенной психофизиологической активации (при этом не связанное с критическими уровнями напряжения) может быть связано со снижением когнитивной работоспособности, что противоречит наиболее распространённым представлениям (Cohen et al., 2016; Abur et al., 2021). С целью поиска возможных интерпретаций выявленного противоречия, проанализируем особенности принципиально разных условий жизнедеятельности – изоляционных экспериментов и «сухой» иммерсии.

В долгосрочных изоляционных экспериментах ведущими факторами, влияющими на психофизиологическое состояние человека-оператора, являются монотония и сенсорная депривация. Можно предположить, что состояние «астенизации», свойственное обследуемым в таких условиях, снижает порог эмоционального реагирования, делая реакцию на необычные эмоциональные переживания более острой (Мясников и др., 2002).

События, приводящие к возбуждению нервной системы, становятся стрессором, который в обычной жизни и профессиональной деятельности служит активизирующим

фактором и приводит к краткосрочному повышению работоспособности. Однако в случае астенизации его действие, согласно полученным данным, становилось обратным: возбуждённое состояние приводило к большему количеству ошибок и возрастанию времени принятия решений у обследуемых в условиях длительных изоляций. Можно предположить, что обследуемые становились менее адаптивными к изменению собственного психоэмоционального состояния.

Возбуждённое состояние человека-оператора, выражающееся в сниженном проценте шиммера, повышении громкости и скачкообразном изменении частоты основного тона (с увеличением средней и уменьшением медианной ЧОТ) было предиктором большего времени принятия решений при математическом счёте, а также большего количества сенсомоторных и когнитивных ошибок у обследуемых-мужчин. У обследуемых-женщин в условиях изоляции снижение шиммера сочеталось с повышением медианной ЧОТ и влиянием циркадных ритмов (в утренние часы отмечалось большее число ошибок в сенсомоторных тестах и возрастание длительности операций математического счёта), что также можно описать как проявления напряжённо-возбуждённого состояния нервной системы. Аналогичную интерпретацию полученных акустических показателей в своих работах предлагают Brenner et al. (1994) и Huttunen et al. (2011).

Таким образом, оптимальным для испытуемых в условиях длительной изоляции было состояние, проявлением которого был относительно высокий (нормальный) уровень шиммера, который при этом являлся признаком не астенизации, а *отсутствия перевозбуждённого состояния*. Интересно отметить, что в эксперименте «ЭСКИЗ» с 14-суточным изоляционным воздействием у мужчин сочетание повышенного шиммера и медианной ЧОТ были признаками повышенной ситуативной тревожности. Аналогичные результаты в связи с тревожностью были получены в работах Li et al. (2007) и Hildebrand et al. (2020). В рамках нашего исследования тревогу в данной ситуации можно связать с астенизацией, то есть с ощущением утомлённости, нехватки ресурсов на выполнение ответственной операторской деятельности.

В экспериментах с «сухой» иммерсией с участием мужчин предиктором эффективности выполнения сенсомоторных тестов в большей степени был джиттер-эффект (вариабельность частоты голосового сигнала). В данных экспериментальных условиях повышенный джиттер (в совокупности с другими акустическими характеристиками), в отличие от шиммера, был, напротив, предиктором большего количества ошибок в сенсомоторных тестах. Более того, при анализе результатов задания РДО с экстраполяцией эти две характеристики голоса (джиттер и шиммер) имели, соответственно, прямую и

обратную связь с качеством выполнения теста, что может указывать на существующие различия между вариабельностями по частоте и амплитуде для анализа психофизиологического состояния человека-оператора (Hildebrand et al., 2020).

Можно предположить, что в условиях иммерсионных экспериментов состояние человека, при котором в голосе регистрировался большой процент джиттера, а ЧОТ, громкость, число пауз и количество голосовых импульсов были снижены, указывало на утомление и неспособность в полной мере выполнять операторские задачи. Ряд исследователей описывает снижение громкости и уменьшение высокочастотных гармоник речевого сигнала как проявления астении (Hirano, 1981; Jalalinajafabadi et al., 2015; Jalalinajafabadi, et al., 2021; Huang et al., 2021).

Важно отметить отличие экспериментальных условий «сухой» иммерсии от изоляционных экспериментов: в первом случае испытуемые не находились в условиях строгой ограниченности социальных контактов: они не были жёстко изолированы от «внешнего мира» (не было условий замкнутой среды обитания и задержки связи), обследуемые постоянно контактировали с исследователями и членами дежурных бригад, по предварительной договорённости их могли посещать коллеги и родственники. Монотония, также присутствовавшая в «сухой» иммерсии, отличалась от монотонии изоляционного эксперимента: в иммерсионном эксперименте не так много зависело от самого обследуемого, практически обездвиженного в ванне, сколько от пунктуальности исследовательской группы, в то время как в состоянии автономной жизнедеятельности в изоляции экипаж самостоятельно выполнял эксперименты и следил за выполнением методик, имея больше возможностей для саморегуляции.

В ситуации монотонии «сухой» иммерсии голос без дополнительного джиттера мог указывать на состояние оптимальной активации нервной системы человека, при которой он был готов выполнить операторские задачи с наибольшей эффективностью. В изоляционных экспериментах, напротив, излишняя активация на фоне астенизации (проявлявшаяся в повышении джиттера), скорее, снижала эффективность выполнения когнитивных и сенсомоторных задач.

Это предположение подтверждает и такая акустическая характеристика, как громкость (интенсивность голосового сигнала), позволяющая определить степень активации нервной системы человека (Asutay and Västfjäll, 2012; Quinto et al., 2013; Huang et al., 2021). В изоляционных экспериментах повышенная громкость речи в совокупности с другими акустическими характеристиками была предиктором большего времени

принятия решений при выполнении простых математических операций у обследуемых-мужчин. В «сухих» иммерсиях с участием представителей обоих полов сниженная громкость указывала на вероятность большего количества ошибок при математическом счёте и большей степени ситуативной тревожности (мужчины), либо большего количества ошибок в сенсомоторных тестах (женщины). Значительно повышенная или пониженная громкость в данном случае сопоставима с аналогичной изменчивостью ЧОТ и джиттер-эффекта, описанной в работе Van Puyvelde et al. (2018) – она указывает на нахождение ЦНС обследуемого на различных концах спектра активации, каждый из которых в определённых условиях может приводить к критическим ошибкам в когнитивных операциях.

Отдельно следует отметить картину острого периода адаптации к иммерсионному воздействию в рамках проведения 3-суточной «сухой» иммерсии с участием обследуемых-женщин. Преобладающий акустический паттерн, полученный с помощью модели множественной регрессии, показал картину, отличную от паттернов в более длительных «сухих» иммерсиях с участием обследуемых-мужчин. Отмечались: низкий процент шиммера, уменьшение средней и увеличение медианной ЧОТ (что можно описать как «выравнивание» частотной тональности речи), снижение громкости и увеличение процента пауз в речи. Субъективно такой голос можно описать как монотонный и напряжённый.

Результаты других исследований, проводившихся в общие промежутки времени с аудиозаписями и выполнением когнитивных тестов, дают возможность интерпретации данных акустических особенностей речи обследуемых.

3-суточная иммерсия является моделью острого периода адаптации: в этот период, начиная с первых суток, обследуемые испытывали интенсивный физиологический дискомфорт (Tomilovskaya et al., 2021). Помимо этого, статус первого в мире подобного эксперимента (СИ с участием женщин) повышал уровень ответственности и степень притязаний у высокомотивированных участниц. Это создавало ситуацию напряжения, при которой наряду с испытываемым дискомфортом обследуемые старались сохранить невозмутимость (Lebedeva et al., 2022). По данным методики FaceReader, в первые сутки эксперимента мимика обследуемых была наиболее нейтральной, но уровень ситуативной тревожности по самооценочным опросникам Спилбергера и POMS был наиболее высоким. Регрессионный анализ также показывает, что предиктором самооценочных ответов о повышенной тревожности было «выравнивание» частотного спектра (т.е. уменьшение средней и увеличение медианной ЧОТ). Можно предположить, что, испытывая состояние повышенной психофизиологической напряжённости и тревоги, обследуемые в данном эксперименте стремились не проявлять их вербально и невербально (Laukka et al., 2008;

Buchanan et al., 2014). Вместе с тем, в дни, когда голос обследуемых был более напряжённым (низкий процент шиммера) и тихим, более ровным (без частотных «выбросов»), с большим количеством пауз, они совершали больше ошибок в сенсомоторных и когнитивных тестах. Можно предположить, что во время наиболее физиологически напряжённых этапов адаптации обследуемым было сложнее сконцентрироваться на выполнении операторских задач (Vock et al., 2010). Когда болезненные ощущения перестали отмечаться при ежедневном медицинском контроле (Tomilovskaya et al., 2021), обследуемые стали более расслабленными (стали проявлять больше эмоций в мимике согласно данным FaceReader, отмечали меньше негативных и больше позитивных эмоций в опроснике POMS) – и в то же время их когнитивная работоспособность возросла.

В наших экспериментах нами не было выделено потенциально существующего четвёртого состояния – срыва адаптации, при котором присутствует острый стресс на фоне нехватки внутренних ресурсов. Можно ожидать, что акустические корреляты в данном случае будут сочетать в себе характеристики «возбуждённого» состояния: повышение громкости голоса при повышении ЧОТ, и, вероятно, значительное снижение шиммера и повышение процента пауз в речи (Ruiz et al., 1996). Данное состояние нуждается в изучении, так как может помочь лучше определить функциональные ресурсы человека, правильность и скорость его решений в критических ситуациях.

Тип экспериментальных условий является важнейшим фактором, влияющим на изменения акустических характеристик речи (Park et al., 2019). Различные, строго контролируемые условия экспериментальных воздействий позволяют лучше определить изменения функционального состояния человека на разных этапах адаптации к ним. Динамика акустических показателей и возможность сравнения их с физиологическими и когнитивными коррелятами является основанием для дальнейшего использования предложенного метода – не только в условиях эксперимента, но и при анализе реальной коммуникативной деятельности человека-оператора.

Изучение акустики речи человека-оператора с целью прогнозирования его когнитивной работоспособности остаётся нетривиальной задачей, особый интерес в которой представляет нелинейность акустических показателей речи. В проведённых экспериментах ни один из параметров голоса по отдельности не ведёт себя линейно по отношению к показателям когнитивных функций, что объясняет противоречивые данные, полученные в других исследованиях, посвящённых теме анализа акустических характеристик речи в целях оценки функционального состояния человека (Van Puyvelde et

al., 2018; Karpen et al., 2022). Наибольшую прогностическую значимость при акустическом анализе получают паттерны, совмещающие в себе несколько количественных показателей, часто противоположных по динамике изменений (Giddens et al., 2013; Van Puyvelde et al., 2018; Karpen et al., 2022). Благодаря нелинейной внутренней связи между ними, обнаруженные в данной работе акустические паттерны являются эффективным инструментом анализа психофизиологического состояния человека. Для прогнозирования работоспособности оператора вне зависимости от условий деятельности и других переменных, необходимо создание продвинутых нелинейных математических моделей, которые позволят выявить повторяющиеся закономерности в контуре «голос – работоспособность». Полученные в нашей работе данные позволяют в перспективе решить эту задачу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ психологических и физиологических состояний человека с помощью естественной речи ставит перед исследователями вызовы, требующие создания новых математических моделей и дополнительную их специализацию. Несмотря на большое количество разносторонних исследований, на данный момент отсутствует универсальная теория для точного описания речевых образцов при выражении эмоциональных состояний. Кроме того, не до конца разработанной остаётся концепция оценки функционального статуса человека-оператора с помощью акустического анализа его речи.

Для точной диагностики функционального статуса человека-оператора необходимо использовать комплексную систему анализа множества параметров психофизиологического состояния организма, среди которых важную роль играет речевое поведение. Изучение акустических характеристик речи доказало свою перспективность как объективный метод клинической оценки поведения и самочувствия людей, работающих удалённо, в экстремальных условиях жизнедеятельности.

В представленной работе был проведён анализ отечественной и зарубежной литературы, посвящённой исследованию функционального состояния операторов. Выделены факторы, влияющие на напряжённость деятельности в экстремальных ситуациях, описаны факторы стресса и совладания с ним, произведён анализ существующих методов диагностики функционального состояния человека при помощи оценки речевого поведения – и, в частности, его частотных характеристик. Описаны факторы, влияющие на характеристики речевого сигнала и методы их технического анализа и интерпретации.

Была разработана и апробирована методика оценки психофизиологического состояния человека-оператора с помощью анализа акустических характеристик речи. Наиболее информативными и надёжными оказались такие количественные параметры речевого сигнала как частота основного тона (средняя и медианная ЧОТ), интенсивность (громкость) речи, количество голосовых импульсов, процент пауз в речи, длительность фраз, шиммер- и джиттер- эффекты.

Во всех 8 проведённых экспериментах используемый метод акустического анализа речи позволил установить связь динамики акустических показателей речи обследуемых с интенсивностью и длительностью воздействия. Так, в кратковременных, но интенсивных по воздействию экспериментах (ЦКР-18 и Шум-2020) была показана динамика громкости,

шиммера и джиттера, а также ЧОТ в ответ на меняющийся уровень нагрузки (возрастающие перегрузки на ЦКР) и длительность нахождения в неблагоприятных шумовых условиях (Шум-2020). Для длительных, но менее интенсивных с точки зрения физиологической напряжённости экспериментальных условий (воздействие моделируемой микрогравитации в рамках «сухой» иммерсии) характерен острый период адаптации длительностью до 3-4 дней: за это время ЧОТ и громкость у обследуемых-мужчин вначале резко повышаются (к вечеру 1-х – утру 2-х суток), а затем приходит к значениям нормы (3-4 сутки). У обследуемых-женщин ЧОТ повышается незначительно (вечер 1-х суток), но затем значительно понижается (вечер 2-х суток), в то время как остальные показатели остаются практически неизменными. Для длительных экспериментов без выраженного воздействия на физиологию человека (изоляция эксперименты) период адаптации по данным динамики акустических показателей составляет 2-4 дней и выражается в последовательном плавном снижении изначально незначительно повышенных ЧОТ, громкости и процента пауз к средним значениям как у мужчин, так и у женщин. В длительных экспериментах наблюдаются различные тенденции к изменению акустических характеристик речи: у мужчин на протяжении 4-х месячного эксперимента слегка повышалась громкость голоса, снижался процент пауз в речи и увеличивалось количество голосовых импульсов. У женщин снижалась громкость голоса и понижалась ЧОТ. Также у всех испытуемых было отмечено повышение значений шиммера в голосе к концу эксперимента.

В экспериментах, в которых параллельно с записью аудио-сообщений проводилась видеозапись для анализа эмоциональной экспрессии по мимике были обнаружены значимые корреляции между акустическими характеристиками речи и выражением базовых эмоций. Полученные результаты указывают на возможность описания эмоций в том числе и через количественные показатели акустики речи, особенно, если оценивать отрицательные эмоции, такие как злость, страх, грусть. Совместное использование аудио- и видео-анализа позволяют более точно описывать психологическое состояние человека-оператора.

В проведённых исследованиях не было установлено достоверных статистических связей между акустическими характеристиками речи и данными личностных опросников (Кейрси, СОРЕ), включая типологическую группировку обследуемых и установление взаимосвязей между индивидуальными особенностями и динамикой функционального состояния (изменения акустики речи и когнитивной работоспособности) в ходе адаптации. Предположительная причина этого – недостаточный объём выборок по числу обследуемых

и наличие выраженных индивидуальных различий, как и существенных различий в экспериментальных условиях.

Было проведено сопоставление данных акустического анализа и данных медицинского контроля (ЧСС, АД, температура тела) в экспериментах: 21-суточной «сухой» иммерсии, 3-суточной «сухой» иммерсии с участием женщин, 14-суточном и 4-месячном изоляционном эксперименте. Наиболее информативным во взаимосвязи с ЧСС оказались такие акустические параметры, как ЧОТ и число голосовых импульсов. В трёх экспериментах ЧОТ у мужчин отрицательно коррелировала с ЧСС. В трёх экспериментах как у женщин, так и у мужчин громкость голоса положительно коррелировала с систолическим и диастолическим АД. Данные корреляции нуждаются в уточнении, в частности, при одновременном и продолжительном измерении произвольной речи человека и его физиологических показателей. Однако достоверность показанных взаимосвязей указывает на сопоставимость результатов акустического анализа речи с измерением физиологических показателей организма человека.

Чтобы определить возможность прогнозирования когнитивной работоспособности посредством анализа акустических характеристик речи в данной работе была использована модель множественной регрессии и проведён дисперсионный анализ полученных уравнений. Были получены 4 паттерна акустических характеристик речи, связанных с эффективностью выполнения когнитивного тестирования:

1. В экспериментах с «сухой» иммерсией у обследуемых-мужчин предикторами менее точных ответов в сенсомоторных тестах был голос с повышенным процентом джиттера и сниженным процентом шиммера, а также относительно низкими ЧОТ и громкостью, низким процентом пауз и количеством голосовых импульсов. Низкие показатели процента пауз и количества голосовых импульсов также были предикторами более долгого выполнения простых математических операций. Пониженная громкость речи и повышенная медианная ЧОТ были также предикторами повышенной тревожности.

2. В эксперименте с 3-суточной «сухой» иммерсией у обследуемых-женщин предикторами менее точных ответов в сенсомоторных тестах был голос со сниженным процентом шиммера, «выравненной» ЧОТ (средняя ЧОТ показывала отрицательную связь паттерна с параметром, а медианная ЧОТ – положительную, что можно интерпретировать как увеличение медианы при уменьшении средних значений тонов, и, как следствие, более однородный частотный «ландшафт»), пониженной громкостью и увеличенным процентом пауз в речи. Предикторами более долгого решения простых математических операций были

повышение процента пауз, увеличение медианной и уменьшение средней ЧОТ. Повышенная медианная и пониженная средняя ЧОТ также являлись предикторами повышенной тревожности в данном эксперименте.

3. В изоляционных экспериментах у обследуемых-мужчин предикторами большего времени принятия решений, а также большего количества сенсомоторных и когнитивных ошибок, был сниженный процент шиммера, повышенная громкость, «скачкообразное» изменение ЧОТ (средняя ЧОТ показывала положительную связь паттерна с параметром, а медианная ЧОТ – отрицательную, что можно интерпретировать как увеличение средних при уменьшении медианных значений тонов, и, как следствие, более разнообразный и менее однородный частотный «ландшафт»). Предиктором большего количества ошибок при решении простых математических операций была повышенная средняя ЧОТ. Повышенный процент шиммера в речи и повышение медианной ЧОТ были предикторами повышенной тревожности.

4. У обследуемых-женщин в аналогичных условиях предикторами худшей когнитивной работоспособности были снижение шиммера, повышение медианной ЧОТ и влияние циркадных ритмов (повышение количества сенсомоторных ошибок и времени выполнения математических операций наблюдалось преимущественно в утренние часы). Предикторами более долгого решения простых математических операций были сниженный процент шиммера, утренние часы выполнения методики, а также повышенная медианная ЧОТ. Повышенный процент пауз в речи был предиктором повышенной тревожности.

Установленные в настоящем исследовании связи между изученными показателями могут быть использованы для прогнозирования работоспособности и оценки психофизиологического состояния операторов с помощью анализа акустических характеристик речи. Характер показателей, получаемых с помощью разработанной и апробированной в рамках данной работы методики, позволяет создать на её основе автоматизированную систему дистанционного мониторинга функционального состояния человека-оператора, находящегося и работающего в экстремальных условиях жизнедеятельности.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведённых экспериментальных исследований с участием 51 обследуемого определены релевантные задачам исследования характеристики акустического сигнала произвольной речи: частота основного тона (ЧОТ, средняя и медианная), громкость, количество голосовых импульсов, процент пауз в речи, длительность фраз, процент шиммер- и джиттер- эффекта.
2. Разработана и успешно апробирована (24 человека, $n=72$) методика оценки психофизиологического состояния человека-оператора на основе анализа акустических характеристик произвольной речи.
3. Комплексный анализ акустических характеристик речи, когнитивной работоспособности и ситуативной тревожности человека-оператора позволяет уточнить динамику развития острого периода адаптации к моделируемым факторам космического полёта. Показано, что наиболее значимую роль в определении начала и окончания острого периода адаптации играют частота основного тона (ЧОТ) ($p<0,05$), процент пауз ($p<0,05$) и кол-во голосовых импульсов ($p<0,05$) в речи обследуемых.
4. Для моделей «сухой» иммерсии и длительной изоляции с учётом полового фактора выделены 4 паттерна акустических показателей, значимые для оценки когнитивной работоспособности. Дисперсионный анализ подтвердил высокую прогностическую значимость данных моделей ($p<0,001$) для прогнозирования показателей когнитивной работоспособности и ситуативной тревожности человека-оператора в представленных экспериментах.
5. В составе акустических паттернов наиболее информативными для прогнозирования когнитивной и сенсомоторной работоспособности показателями является ЧОТ (средняя и медианная), а также шиммер (вариабельность акустического сигнала по амплитуде), джиттер (вариабельность акустического сигнала по частоте) и процент пауз в речи.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АД – артериальное давление

АТФ – аденозинтрифосфат

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ГНЦ РФ ИМБП РАН (ИМБП РАН) – Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук

ДАД – диастолическое артериальное давление

КА – космический аппарат

КГР – кожно-гальваническая реакция

КП – космический полёт

КрФ – креатинфосфат

КЭ – космический эксперимент

МКС – международная космическая станция

ПО – программное обеспечение

РДО – реакция на движущийся объект

САД – систолическое артериальное давление

СИ – сутки иммерсии

Усл. ед. – условная единица

ФПГ – фотоплетизмограмма

ЦКР – центрифуга короткого радиуса

ЦНС – центральная нервная система

ЦТЛ – цветовой тест Люшера

ЦУП – центр управления полётами

ЧОТ – частота основного тона речи

ЧСС – частота сердечных сокращений

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

ЭКС – электрокожное сопротивление

ЭМГ – электромиограмма

ЭЭГ – электроэнцефалограмма

DPC – daily planning conference, ежедневные планировочные конференции

IW-SVM – Importance-Weighted Support Vector Machines, взвешенный по значимости метод на основе опорных векторов

MFCC – Mel Frequency Cepstral Coefficient, метод кепстральных коэффициентов

NHR – Noise-to-Harmonic Ratio, соотношение шума и гармонических компонентов аудиосигнала

NLD – Nonlinear Dynamics, метод на основе нелинейной динамики

POMS – Profile of Mood States, профиль состояний настроения

STAI – State-Trait Anxiety Inventory, тест оценки ситуативной тревожности

SVM – Support Vector Machines, метод опорных векторов

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Агарков Ю. Н., Козина М.Д., Косырев В.Н. Об использовании акустических показателей речи в диагностике психоэмоциональных состояний // Вестник ТГУ. 2002. №2. С. 83-85.
2. Адашинская Г.А. Акустические корреляты индивидуальных особенностей функциональных и эмоциональных состояний // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2007. Т. 41. № 2. С. 3-13.
3. Ахмад Х. М., Жирков В. Ф. Введение в цифровую обработку речевых сигналов: учеб. пособие // Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 192 с.
4. Бабин Д.Н. О перспективах создания системы автоматического распознавания слитной устной русской речи / Д.Н. Бабин, И.Л. Мазуренко, А.Б. Холоденко // Интеллектуальные системы. 2004. Т. 8 (1-4). С. 45-70.
5. Барабаш В.И. и Шкрабак В.С. Психология безопасности труда: Учебное пособие // СПб.: СПГАУ. 1996 – 321 с.
6. Береговой Г.Т., Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике. М.: Наука, 1978. – 304 с.
7. Богданова-Бегларян Н. В. Функционирование некоторых прагматем русской устной речи в коммуникации представителей разных социальных групп // Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология. 2016 Вып. 2 (34). С. 38–49.
8. Большаков А.М., Крутько В.Н., Смирнова Т.М., Морозов В.С., Быстрицкая А.Ф. Система оценки психической работоспособности для целей профилактической медицины // Вестник С-ПГМА им. И.И. Мечникова. 2002. № 1-2. С. 105-110.
9. Вартанов А.В. Антропоморфный метод распознавания эмоций в звучащей речи // Национальный психологический журнал. 2013. №2(10). С. 69–79.
10. Варфоломеев А. В., Берзин И. А. Коррекция психофизиологического состояния операторов РЛС с помощью сеансов аутотренинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 1998, Вып.№ 4. С. 22-23.
11. Волкова М.С. Вербальные реакции человека в экстремальных жизненных ситуациях // Экстремальная деятельность человека, Научно-методический журнал. М.: Продюсерский Центр Вертикаль-ТВ. 2014. №4 (33). С. 26-29.
12. Воронцова Ю. А., Хорошко Е. Ю. Невербальные знаки как неотъемлемая часть речевого общения // Вестник БелЮИ МВД России. 2006. №2. С. 128-131.

13. Галунов В.И. Речь, эмоции и личность: проблемы и перспективы // Речь, эмоции и личность. Материалы и сообщения Всесоюзного симпозиума 27-28 февраля 1978. Л.: Научный совет по комплекс, пробл. человека и животных АН СССР, 1978. С. 197.
14. Горшков Ю. Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов // Москва: Радиотехника. 2017. - 239 с.
15. Григорьев А.И., Егоров А.Д. Длительные космические полеты // Космическая биология и медицина. Совместное российско-американское издание в 5 томах. Том 3. Книга 2. Человек в космическом полете (В.В. Антипов, А.И. Григорьев К. Лич Хантун, ред). М.: Наука. 1997. С. 368-447.
16. Григорьева М.В. Психология труда. Конспект лекций // М.: Высшее образование, 2006. - 192 с.
17. Гусев А. Н., Енгальчев В. Ф., Захарова Н. А. Компьютерные технологии оценки голоса и лицевых экспрессий в анализе аудио- и видеоматериалов // *Armenian Journal of Mental Helth*. 2018. Т. 9 (1), С. 70–73.
18. Гуцин В.И., Виноходова А.Г., Комиссарова Д.В., Белаковский М.С., Орлов О.И. Эксперименты с изоляцией: прошлое, настоящее, будущее // *Авиационная и экологическая медицина*. 2018 Т. 52 №4 С.5
19. Давыдов А. Г., Киселёв В. В., Кочетков Д. С. Классификация эмоционального состояния диктора по голосу: проблемы и решения // *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог»*. Вып. 11 (18): В 2 т. Т. 1: Основная программа конференции. М.: Изд-во РГГУ, 2012. С. 122-128.
20. Данилова Н. Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний: Учеб. Пособие // М.: Изд-во МГУ, 1992. — 192 с.
21. Дементий Л.И. К проблеме диагностики социального контекста и стратегий копинг-поведения // М.: Журнал прикладной психологии. 2004. Т. 3. С. 20-25.
22. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Психология труда, профессиональной, информационной и организационной деятельности // Академический проект, Деловая книга. М., 2005 – 848 с.
23. Елисеева О. Е. Естественно-языковой интерфейс интеллектуальных систем: учеб. Пособие // Минск: БГУИР, 2009. – 151 с.
24. Зубаков А.П. Фурье и вейвлет-преобразования в проблеме распознавания речи // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2010. №6. С.1893-1899.

25. Иванов А.В., Квасовец С.В., Бубеев Ю.А. Комплексное нейрокогнитивное тестирование в телемониторинге функционального состояния // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2022 Т. 56 № 3 С. 71–80. DOI:10.21687/0233-528X-2022-56-3-71-80.
26. Изард К.Э. Психология эмоций // СПб.: Питер, 1999. 464 с.
27. Ильин Е.П. Теория функциональной системы и психофизиологические состояния. – В кн. Теория функциональных систем в физиологии и психологии. – М., 1978. - 383 с.
28. Картавенко М.В. Об использовании акустических характеристик речи для диагностики психических состояний человека // Известия ЮФУ. Технические науки. 2005. №5. С. 164-180.
29. Киркоров С.И., Борискевич А.А. Методы и средства восстановления разборчивости зашумленной речи // Курс: цифровая обработка речи и изображения, на основе лекции Борискевича А.А. Минск, 2010. – 19 с.
30. Киселёв, В.В. Система определения эмоционального состояния диктора по голосу / В.В. Киселёв, А.Г. Давыдов, А.В. Ткачя // Материалы Международной научно-технической конференции «OSTIS-2012». Минск, 2012. С. 355-358.
31. Китаев-Смык Л.А. Психология стресса. Психологическая антропология стресса // Научное издание. М.: Академический Проект, 2009. — 943 стр.
32. Козловская И.Б. Фундаментальные и прикладные задачи иммерсионных исследований // Авиакосм. и экол. мед. 2008. 42(5). С.3-8.
33. Лебедева С.А., Швед Д.М. Изучение когнитивной работоспособности и психофизиологического состояния человека-оператора в условиях изоляции // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62(4) С. 225-231.
34. Лебедева С.А., Швед Д.М., Федяй С.О. Изучение психофизиологического состояния человека в условиях воздействия моделируемой микрогравитации методом анализа акустических характеристик речи // Авиакосм. и экол. мед. 2020. Т. 54. № 2. С. 45–51.
35. Лебедева С.А., Швед Д.М., Гушин В.И. Предварительные результаты изучения функционального состояния человека-оператора методом анализа акустических характеристик речи в условиях моделируемых факторов космического полёта // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53(2). С. 50-56.
36. Леонова А.Б. Психодиагностика функциональных состояний человека // М., Изд. МГУ, 1984, с.5-53.
37. Лурия А.Р. Лекции по общей психологии // СПб.: Питер, 2006. — 320 с.

38. Магомед-Эминов М.Ш. Экстремальная психология // М., 2006. Т. 2. – 576 с.
39. Матвеев А.В., Самохвалова С.М. Инструменты кадрового аудита // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13. С.45-48.
40. Машин В.А. К вопросу классификации функциональных состояний человека // Экспериментальная психология/ 2011. Том 4. № 1. С. 40-56.
41. Морозов В.П. Искусство и наука общения: невербальная коммуникация // М., ИП РАН, Центр «Искусство и наука» 1998. – 164 с.
42. Морозов В.П. Психоакустические аспекты восприятия речи // Механизмы деятельности мозга человека/ Под ред. Бехтеревой Н.П., М.: Наука, 1988, С. 578-601.
43. Морозов В.П. Психологический портрет человека по невербальным особенностям его речи // Психологический журнал. 2001. Т. 22. № 6. С. 48-63.
44. Мохотаева М. В., Степанова Ю. Е. Диагностика состояния голосовой функции у детей методом акустического анализа // Российская оториноларингология. 2010. №1 (44). С. 86-89.
45. Мясников В. И., Степанова С. И. Факторы риска развития психической астенизации у космонавтов в длительном полете // Вестник ТГПУ. 2002. №3 (31). С. 9-18.
46. Мясников В.И., Замалетдинов И.С. Психическое состояние и групповое взаимодействие космонавтов в полете // Космическая биология и медицина. Т.3. Человек в космическом полёте. Т. 3. Кн. 2. М.: Наука, 1997. С. 246–269.
47. Наенко Н.И., Овчинникова О.В. Проблемы инженерной психологии // М.: Наука, 1969. – 195 с.
48. Никонов А.В. Психологические проблемы акустической диагностики функциональных состояний оператора // Психологические проблемы деятельности в особых условиях. - М.: Наука, 1985. С. 136-153.
49. Носенко Э.Л. Особенности речи в состоянии эмоциональной напряженности // Днепропетровск. Днепропетровск.гос.ун-т, 1975. – 132 с.
50. Овчинников В.П., К. В. Павлов, И. М. Владимирова. Типы темперамента в практической психологии // СПб.: Речь, 2003. – 288 с.
51. Орлов О.И., Колотева М.И. Центрифуга короткого радиуса как новое средство профилактики неблагоприятных эффектов невесомости и перспективные планы по разработке проблемы искусственной силы тяжести применительно к межпланетным полетам // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2017. Т. 51. № 7. С. 11-18.
52. Перервенко Ю. С. Исследование инвариантов нелинейной динамики речи и принципы построения системы аудиоанализа психофизиологического состояния:

- диссертация ... кандидата технических наук: 05.11.17 // Перервенко Юлия Сергеевна; [Место защиты: Юж. федер. ун-т].- Таганрог, 2009. – 175 с.
53. Пичулин В.С., Лукьянюк В.Ю., Соболева А.Ю. Центрифуга короткого радиуса (ЦКР) как гидростатическая модель земной гравитации // Труды МАИ. 2008 Т. 32. С. 2-2.
54. Потапова Р. К., Потапов В. В. Перспективы развития концепции речевой портрет говорящего // Сб. трудов XVII Международной научной конференции "Информатизация и информационная безопасность правоохранительных органов". — Москва, 2008. — С. 381–382.
55. Рассказова Е.И., Гордеева Т.О., Осин Е.Н. Копинг-стратегии в структуре деятельности и саморегуляции: психометрические характеристики и возможности применения методики COPE // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2013. Т. 10. № 1. С. 82–118.
56. Романенко В.О. Эмоциональные характеристики речи и их связь с акустическими параметрами // СПб: Общество.Среда.Развитие 2011. 3 (20). С. 124-127.
57. Рыжов Б.Н. Психическая работоспособность в экстремальных условиях профессиональной деятельности // Диссертация на соискание ученой степени доктора психологических наук. М., 2001. – 443 с.
58. Рыжов Б.Н. Системная психология (методология и методы психологического исследования) // М.: МГПУ, 1999. — 276 с.
59. Савченко А. В. Технологии распознавания речи // ПостНаука. Банк знаний, 2017, ссылка на онлайн ресурс: <https://postnauka.ru/faq/82575>
60. Сигалева Е.Э., Марченко Л.Ю., Пасекова О.Б., Мацнев Э.И., Гордиенко К.В., Гришин В.И. Перспектива использования метода дыхания нормоксической кислородно-аргоновой газовой смесью в целях шумовой отопротекции // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2023. Т. 57 (2). С. 65-73. doi: 10.21687/0233-528X-2023-57-2-65-73
61. Сидоров К.Р. Тревожность как психологический феномен // Вестник Удмуртского университета. Серия «Философия. Психология. Педагогика». 2013. Т. 2. С. 42-52.
62. Смирнов Б.А., Долгополова Е.В. Психология деятельности в экстремальных ситуациях // Х.: Изд-во Гуманитарный Центр. 2007. - 276 с.
63. Смирнова Т.М., Быстрицкая А.Ф., Крутько В.Н., Морозов В.С. Система оценки психической работоспособности как важного показателя здоровья // Труды ИСА РАН. 2005. Т. 13. С. 170-194.

64. Собчик Л.Н. МЦВ – метод цветowych выборов. Модифицированный восьмицветовой тест Люшера: Практическое руководство // СПб., 2001. – 112 с.
65. Сопов В.Ф. Теория и методика психологической подготовки в современном спорте. Методическое пособие // Москва, 2010. – 117 с.
66. Сорока А. М., Семенченко А. В., Хейдоров И. Э. Распознавание эмоций в речи на основе вейвлетного анализа с адаптируемыми базовыми функциями // Международный конгресс по информатике: Информационные системы и технологии. Материалы международного научного конгресса, Республика Беларусь, Минск. 2016. С. 645-651.
67. Степанова Ю. Е., Мохотаева М. В., Корнеенков А. А. Акустические характеристики голоса у представителей голосоречевых профессий с функциональной дисфонией по гипотонусному типу // Российская оториноларингология. 2021. Т. 20(4). С. 58–63. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-58-63>
68. Талалаев А.А., Бобров А.Ф. Некоторые подходы к разработке системы экспресс-классификации функциональных состояний организма человека // В кн. «Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека», М., ИБФ, 1986, С. 103-120.
69. Тиунов С.Д. Модель, численные методы и комплекс программ для акустического анализа голоса в задачах диагностики голосовых расстройств: Дис. Канд.тех.наук // Томск, 2014. – 133 с.
70. Ульянов И.М., Хромова И.В. Исследование воздействия негативных факторов невесомости на организм человека // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13. С. 13-22.
71. Ушаков И. Б., Иванов А. В., Квасовец С. В., Бубеев Ю. А. Нейросемантические и психофизиологические корреляты ритмосуггестивной коррекции стрессовых состояний // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015, Т. 49. № 6. С. 55-60.
72. Филатова Н.Н., Сидоров К.В. Модель интерпретации знака эмоций по естественной речи / Н.Н. Филатова, К.В. Сидоров // Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск. – 2012. – Т. 134. – № 9 – С. 39-45.
73. Фролов М.В., Милованова Г.Б. Особенности контроля состояния человека-оператора по показателям основного тона и спектра его речи // Физиология человека, 2009. Т. 35 (2). С. 136-138.
74. Фугелова Т. А. Инженерная психология: учебник. // Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – 304 с.

75. Хроматиди А. Ф. Исследование психофизиологического состояния человека на основе эмоциональных признаков речи: Дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17, 05.13.01 // Таганрог, 2005. – 154 с.
76. Чепурных И.В., Чепурных С.А. Системы бортового оборудования самолётов и вертолётов. Топливная система и кабинное оборудование: учеб. Пособие // Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 169 с.
77. Щербатых Ю.В. Психология труда и кадрового менеджмента в схемах и таблицах: справочное пособ. // М.: КНОРУС, 2011 – 248 с.
78. Юсупова А.К., Гущин В.И., Ушаков И.Б. Коммуникации космических экипажей в реальных и моделируемых космических полётах: монография // М.: ГНЦ РФ - ИМБП РАН, 2011. – 199 с.
79. Якимович Н. В. Неблагоприятные психические состояния у пилотов в полете как причина авиационных катастроф // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2019. Т. 4. (1). С. 131-153.
80. Abur D., MacPherson M.K., Shembel A.C., Stepp C.E. Acoustic measures of voice and physiologic measures of autonomic arousal during speech as a function of cognitive load in older adults // Journal of Voice, 2021. V. 31 (4). P. 1-504. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.12.027>.
81. Akçay Mehmet Berkehan, Oğuz Kaya. Speech emotion recognition: Emotional models, databases, features, preprocessing methods, supporting modalities, and classifiers // Speech Communication. 2020. V.116: P. 56-76.
82. Alberdi A., Aztiria A., Basarab A. Towards an automatic early stress recognition system for office environments based on multimodal measurements: A review // Journal of Biomedical Informatics. 2016. V. 59, P. 49-75.
83. Asutay E., Västfjäll D. Perception of loudness is influenced by emotion // PLoS ONE. 2012. 7:e38660. doi:10.1371/journal.pone.0038660.
84. Baykaner K., Huckvale M., Whiteley I., Ryumin O., Andreeva S. Predicting fatigue and psychophysiological test performance from speech for safety-critical environments // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2015. V. 3(124), doi:10.3389/fbioe.2015.00124.
85. Begum S. Intelligent driver monitoring systems based on physiological sensor signals: a review // in. 16th International IEEE Annual Conf. on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2013. P. 2082–2089.

86. Bhattacharya S., Borah S., Mishra B. K., Das N. (2022). Deep analysis for speech emotion recognition // Second International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA). IEEE, 2022. P. 1-6.
87. Bock O., Weigelt C., Bloomberg J.J. Cognitive demand of human sensorimotor performance during an extended space mission: a dual-task study // *Aviat. Space Environ. Med.*, 2010. 81 (9). P. 819-824, doi:10.3357/ase.2608.2010.
88. Boersma P., Weenink D. Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.37, // retrieved 14 March 2018 from <http://www.praat.org>.
89. Brenner M., Branscomb H.H., Schwartz G.E. Psychological stress evaluator — two tests of a vocal measure // *Psychophysiology*. 1979. V.16: P. 351–357.
90. Brenner M., Doherty E. T., Shipp T. Speech measures indicating workload demand // *Aviat. Space Environ. Med*, 1994. 65, P. 21–26.
91. Buchanan T.W., Laures-Gore J.S., Duff M.C. Acute stress reduces speech fluency // *Biological Psychology*, 2014. V. 97, P. 60-66.
92. Cermack M. Monitoring and telemedicine support in remote environments and in human space flight // *British Journal of Anaesthesia*. 2006. 97 (1): P. 107–14.
93. Cohen A. O., Dellarco D.V., Breiner K., Helion C., Heller A. S., Rahdar A. et al. (2016) The impact of emotional states on cognitive control circuitry and function // *Cognitive Neuroscience*; 28 (3): P. 446–459. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00906.
94. de Cheveigné A., Kawahara H. YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music // *J Acoust Soc Am*. 2002 Apr; 111 (4): P. 1917-30. doi:10.1121/1.1458024. PMID: 12002874.
95. Despotovic V., Pocta P., Zgank A. Audio-based active and assisted living: a review of selected applications and future trends // *Computers in Biology and Medicine*. 2022. 149. 106027. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.106027>.
96. Dong Y., Li D. Automatic speech recognition. A deep learning approach. Springer-Verlag, London. 2015. – 321 p.
97. Duan S.F., Lyu X. Affective voice interaction and artificial intelligence: a research study on the acoustic features of gender and the emotional states of the PAD Model // *Front. Psychol*. 2021. 12:664925. doi: 10.3389/fpsyg.2021.664925.
98. Farrús M., Hernando J., Ejarque P. Jitter and shimmer measurements for speaker recognition // in *INTERSPEECH 2007*, 8th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Antwerp: ISCA Archive), P. 778–781. http://www.isca-speech.org/archive/interspeech_2007.

99. Flanagan J. L., Allen J. B., Hasegawa-Johnson M. A. *Speech analysis synthesis and perception*. Third ed. Springer-Verlag, 2008. – 486 p.
100. Gibak K., Loizou P. Gain-induced speech distortions and the absence of intelligibility benefit with existing noise-reduction algorithms // *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2011. V.130. P.1581-1596.
101. Giddens C.L., Barron K.W., Byrd-Craven J., Clark K.F., Winter A.S. Vocal indices of stress: A review // *Journal of Voice*, 2013. 27. P. 21–29.
102. Gopalan K. Pitch estimation using a modulation model of speech // in *Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing WCCCICSP 2000*, Vol. 2, P. 786–791. doi: 10.1109/ICOSP.2000.891629.
103. Graves A., Jaitly N. Towards end-to-end speech recognition with recurrent neural networks // *Proceedings of the 31st International Conference on Machine Learning*, Beijing, China, 2014. V. 32. P. 110-119.
104. Griffin G.R., Williams C.E. The effects of different levels of task complexity on three vocal measures // *Aviat Space Environ Med*. 1987. 58: P. 1165–1170.
105. Grootjen M., Neerincx M.A., Weert J.C.M., Truong K.P. Measuring cognitive task load on a naval ship: Implications of a real world environment // *Proceedings of 12th HCI International (HCII)*, Beijing, China, July 22-27 (LNAI 4565). 2007. P. 147-156.
106. Guimarães I. *A ciência e a arte da voz humana* // Alcoitão, Escola Superior de Saúde de Alcoitão. – 2007.
107. Gushin V., Yusupova A., Shved D., Shueva L., Vinokhodova A., Bubeev Y. The evolution of methodological approaches to the psychological analysis of the crew communications with Mission Control Center // *REACH - Reviews in Human Space Exploration*. 2016. V. 1. P. 74-83.
108. Hadwin J. A., Brogan J., Stevenson J. State anxiety and working memory in children: A test of processing efficiency theory // *Educational Psychology*. 2005. V. 25(4), P. 379–393.
109. Hansen J. H. L, Bria O. N. Lombard effect compensation for robust automatic speech recognition in noise // *Intern. Conf. Spoken Language Processing*. Kobe, Japan, 1990. P. 1125-1128.
110. Hildebrand C., Efthymiou F., Busquet F., Hampton W.H., Hoffman D., Novak T. P. Voice analytics in business research: Conceptual foundations, acoustic feature extraction, and applications // *Journal of Business Research*, 2020, Volume 121, P. 364-374, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.020>.

111. Hinton G., Deng L., Yu D., Dahl G., Mohamed A., Jaitly N., Senior A., Vanhoucke V., Nguyen P., Sainath T., Kingsbury B. Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups // *IEEE Signal Process. Mag.*, Vol. 29, No. 6, Nov. 2012, P. 82–97.
112. Hirano M., Hirano N. *Clinical examination of voice*. Springer, New York, 1981. – 100 p.
113. Huang Y., Ao W., Zhang G. Novel sub-band spectral centroid weighted wavelet packet features with importance-weighted support vector machines for robust speech emotion recognition // *Wireless Pers Commun*, 2017. V. 95. P. 2223–2238.
114. Jacob A. Speech emotion recognition based on minimal voice quality features // *International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2016, P. 886–890. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754275>.
115. Jalalinajafabadi F., C. Gadepalli, M. Ghasempour, F. Ascott, M. Luján, J. Homer, B. Cheetham. Objective assessment of asthenia using energy and low-to-high spectral ratio // in: *12th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (ICETE)*, 2015. Vol. 5, IEEE, 2015, P. 76–83.
116. Jalalinajafabadi F., Gadepalli C., Jarchi D., Cheetham B. M. G. Acoustic analysis and digital signal processing for the assessment of voice quality // *Biomedical Signal Processing and Control*, 2021. T. 70, 103018. doi:10.1016/j.bspc.2021.103018.
117. Jalalvand A., Demuyneck K., De Neve W., Van de Walle R., Martens J.-P., Design of reservoir computing systems for noise-robust speech and handwriting recognition // *Multimedia Lab, ELIS, Ghent University. Belgium*, 2015.
118. Jiang X., Pell M. D. The sound of confidence and doubt // *Speech Communication*, 2017. V. 88. P. 106-126. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2017.01.011>.
119. Johannes B., Salnitski V., Soll H., Rauch M., Hoermann H.-J. De-individualized psychophysiological strain assessment during a flight simulation test – validation of a space methodology // *Acta astronautica*. 2008. V. 63. P. 791-799.
120. Johannes B., Salnitski V.P., Gunga H-C, Kirsch K. Voice stress monitoring in space — possibilities and limits // *Aviat Space Environ Med*. 2000. V.71: P.58-65.
121. Johnstone, T., Scherer, K. R. The effects of emotions on voice quality // *Proceedings of the XIVth International Congress of Phonetic Sciences*. 1999. P. 2029-2032.
122. Juslin P.N., Laukka P. Communication of emotions in vocal expression and music performance: different channels, same code? // *Psychological Bulletin*. 2003, Vol. 129. N 5. P. 770–814.

123. Kanas N. Behavioral health and human interactions in space. Springer International Publishing, January 2023 – 447 p.
124. Kappen M., Hoorelbeke K., Madhu N. et al. Speech as an indicator for psychosocial stress: A network analytic approach // Behav Res. 2022. V. 54, 910–921. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01670-x>.
125. Kappen M., van der Donckt J., Vanhollebeke G. et al. Acoustic speech features in social comparison: how stress impacts the way you sound // Sci Rep. 2022. 12, 22022 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26375-9>.
126. Kienast M., Sendlmeier W.F. Acoustical analysis of spectral and temporal changes in emotional speech // ISCA Workshop on Speech and Emotion, Belfast 2000. <http://www.qub.ac.uk/en/isca/proceedings/pdfs/kienast.pdf>.
127. Kluender K.R., Coady J.A., Kieft M. Sensitivity to change in perception of speech // Speech Communication, 2003. V. 41(1), P. 59-69.
128. Knight R-A., Nolan F. The effect of pitch span on intonation plateau // Journal of IPA. 2006. Vol. 36 (1). P. 21-38.
129. Koglbauer I., Braunstingl R. Anticipation-based methods for pilot training and aviation systems engineering // Aviation Psychology: Applied Methods and Techniques; Göttingen, Germany, 2021; P. 51–68.
130. Koo H., Jeong S., Yoon S. and Kim W. Development of speech emotion recognition algorithm using MFCC and prosody // International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Barcelona, Spain, 2020. P. 1-4.
131. Kunin A., Sargheini N., Birkenbih C., Moiseeva N., Fröhlich Holger, Olga Golubnitschaja. Voice perturbations under the stress overload in young individuals: phenotyping and suboptimal health as predictors for cascading pathologies // EPMA Journal. 2020 V.11. P. 517–527. <https://doi.org/10.1007/s13167-020-00229-8>.
132. Kuroda I., Fujiwara O., Okamura N., Utsuki N. Method for determining pilot stress through analysis of voice communication // Aviat Space Environ Med. 1976. V. 47. P. 528–533.
133. Lebedeva S., Shved D., Savinkina A. Assessment of the psychophysiological state of female operators under simulated microgravity // Front. Physiol. 2022. 12:751016. doi: 10.3389/fphys.2021.751016
134. Li X., Tao J., Johnson M., Soltis J., Savage A., Leong K., Newman J. (2007). Stress and emotion classification using jitter and shimmer features // ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – Proceedings, V. 4. P. 1081-1084. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2007.367261>

135. Likitha M. S., Gupta S. R. R., Hasitha K., Raju A. U. Speech based human emotion recognition using MFCC // International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai. 2017. P. 2257-2260.
136. Loizou P., Gibak K. Reasons why current speech-enhancement algorithms do not improve speech intelligibility and suggested solutions // Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions. 2011. V. 19. P. 47 - 56. doi:10.1109/TASL.2010.2045180.
137. Massoni S. (2014). Emotion as a boost to metacognition: How worry enhances the quality of confidence // Consciousness and Cognition. 2014. V. 29. P. 189–198.
138. McEwen B. S., Seeman T. Protective and damaging effects of mediators of stress. Elaborating and testing the concepts of allostasis and allostatic load // Ann NY Acad Sci. 1999. № 896. P. 30–47.
139. McNair D.M., Lorr M., Droppleman L.F. Manual for the profile of mood states. San Diego, 1971. – 27 p.
140. Mendoza E., Carballo G. Acoustic analysis of induced vocal stress by means of cognitive workload tasks // J. Voice. 1998. V. 12. P. 263–273. doi: 10.1016/S0892-1997(98)80017-9
141. Murray N. P., Janelle C. M. Anxiety and performance: A visual search examination of the processing efficiency theory // Journal of Sport and Exercise Psychology. 2003. V. 25(2). P. 171–187.
142. NeuroLab BioMouse. Универсальная психофизиологическая лаборатория. Руководство пользователя // Москва, 2008. – 89 с.
143. Nishimura Y., Motomura E., Ohoyama K., Hara N., Inoue K., Nishida A., Okada M. Effects of state anxiety on the cognitive and emotional tasks in healthy volunteers // Neuroscience Research. 2009. V. 65 (1). P. 193-194.
144. Orlikoff R. F. Vowel amplitude variation associated with the heart cycle // J. Acoust. Soc. Am. 1990. V. 88. P. 2091–2098.
145. Panchapagesan S. Frequency warping by linear transformation of standard MFCC // Interspeech, Pittsburgh, USA, 2006. P. 397-341.
146. Park J.J., Baik Y.S., Park Y.B., Park Y.J. Autonomic function, voice, and mood states // Clin Auton Res. 2011. V. 21. P. 103–110.
147. Park Y., Stepp C.E. The effects of stress type, vowel identity, baseline f0, and loudness on the relative fundamental frequency of individuals with healthy voices // J Voice. 2019. V. 33(5). P. 603-610. doi: 10.1016/j.jvoice.2018.04.004.
148. Pisanski K., Kobylarek A., Jakubowska L., Nowak J., Walter A., Błaszczyszński K. et al. Multimodal stress detection: Testing for covariation in vocal, hormonal and

- physiological responses to Trier Social Stress Test // *Hormones and Behavior*, 2018. V. 106. P. 52-61. doi: 10.1016/j.yhbeh.2018.08.014.
149. Pohjalainen J., Ringeval F., Zhang Z., Schuller B. Spectral and cepstral audio noise reduction techniques in speech emotion recognition // In Proceedings of the 24th ACM International Conference on Multimedia, Amsterdam, The Netherlands, October 2016. P. 670–674.
150. Potapova R., Potapov V. Auditory and visual recognition of emotional behaviour of foreign language subjects (by native and non-native speakers) // *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. – Springer Verlag, 2014. P. 62–69.
151. Quinto L., Thompson, W., and Keating, F. Emotional communication in speech and music: the role of melodic and rhythmic contrasts // *Front. Psychol.* 2013. V. 4. P. 1-8. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00184.
152. Ramus F., Nespors M., Mehler J. Correlates of linguistic rhythm in the speech signal // *Cognition*. 1999. V. 73(3). P. 265-292.
153. Robinson O. J., Vytal K., Cornwell B. R., Grillon C. (2013). The impact of anxiety upon cognition: Perspectives from human threat of shock studies // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013. V. 7. P. 1–21.
154. Rothkrantz L. J. M. Voice stress analysis // *Conference Paper in Lecture Notes in Computer Science*. 2004. P. 449-456.
155. Ruiz R., Absil E., Harmegnies B., Legros C., Poch D. Time and spectrum- related variabilities in stressed speech under laboratory and real conditions // *Speech Commun.* 1996. V. 20. P. 111–129. doi: 10.1016/S0167-6393(96)00048-9.
156. Scherer K.R. Emotion effects on voice and speech: Paradigms and approaches to evaluation // *ISCA Workshop on Speech and Emotion, Belfast*. 2000. V. 10. P. 39-44. <http://www.qub.ac.uk/en/isca/proceedings/pdfs/scherer.pdf>.
157. Simonov P.V., Frolov M.V., Ivanov E.A. Psychophysiological monitoring of operator's emotional stress in aviation and astronautics // *Aviat Space Environ Med.* 1980. V. 51. P. 46–49.
158. Slavich G. M., Taylor S., Picard R. W. Stress measurement using speech: Recent advancements, validation issues, and ethical and privacy considerations // *Stress*, 2019. V. 22(4). P. 408-413. doi: 10.1080/10253890.2019.1584180.
159. Smith N. C., Bellamy M., Collins D. J., Newell D. A test of processing efficiency theory in a team sport context // *Journal of Sports Sciences*. 2001. V. 19(5), P. 321–332.

160. Sondhi S., Khan M., Vijay R., Salhan A.K. Vocal indicators of emotional stress // *International Journal of Computer Applications*. 2015. V. 122. P. 38–43. doi:10.5120/21780-5056.
161. Sparrow A. R., LaJambe C. M., Van Dongen H. P. A. Drowsiness measures for commercial motor vehicle operations // *Accident Analysis and Prevention*. 2019. V. 126. P. 146–159. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.04.020>.
162. Speyer R. Effects of voice therapy: a systematic review // *J Voice*. 2008. V. 22. P. 565–580.
163. Spielberger C. Anxiety: Current trends in theory and research // N.Y., 1972. V. 1. P. 24–55.
164. Supolkina N., Yusupova A., Shved D., Gushin V., Savinkina A., Lebedeva S.A., Chekalina A., Kuznetsova P. External communication of autonomous crews under simulation of interplanetary missions // *Front. Physiol*. 2021, 12:751170. doi: 10.3389/fphys.2021.751170
165. Syrdal A. K., Gopal H. S. A perceptual model of vowel recognition based on the auditory representation of American English vowels // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1986. V. 79 (4). P. 1086–1100.
166. Teixeira J. P., Fernandes P. O. Jitter, shimmer and HNR classification within gender, tones and vowels in healthy voices // *Procedia technology*. 2014. V. 16. P. 1228-1237.
167. Teixeira J. P., Ferreira D., Carneiro S. Análise acústica vocal - determinação do Jitter e Shimmer para diagnóstico de patologias da fala // In 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo, Moçambique, 2014. P. 1-18.
168. Teixeira J. P., Oliveira C., Lopes C. Vocal acoustic analysis – jitter, shimmer and HNR parameters // *Procedia Technology*. 2013. V.9. P. 1112-1122. doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.124.
169. Teixeira, J. P., Gonçalves. Algorithm for jitter and shimmer measurement in pathologic voices // *Procedia Computer Science*. 2016. V.100. P. 271-279.
170. Thomas E. Sociophonetics: An Introduction. – Basingstoke-New York: Palgrave Macmillan. 2011. V. 31 (2). P. 671-680.
171. Tolkmitt F. J., Scherer K. R. Effect of experimentally induced stress on vocal parameters // *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform*. 1986. V. 12, P. 302–313. doi: 10.1037/0096-1523.12.3.302.

172. Tomilovskaya E., Amirova L., Nosikova I., Rukavishnikov I., Chernogorov R., Lebedeva S. et al. The first female dry immersion (NAIAD-2020): design and specifics of a 3-day study // *Front. Physiol.* 2021. 12:284. doi: 10.3389/fphys.2021.661959.
173. Van Puyvelde M., Neyt X., McGlone F., Pattyn N. Voice stress analysis: a new framework for voice and effort in human performance // *Front. Psychol.* 2018. 9:1994. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01994.
174. Villanueva-Valle J., Díaz J-L., Jiménez S., Rodríguez-Delgado A., Arango de Montis I., León-Bernal A., Miranda-Terres E., Muñoz-Delgado J. Facial and vocal expressions during clinical interviews suggest an emotional modulation paradox in borderline personality disorder: an explorative study // *Front. Psychiatry.* 2021. 12:628397. doi: 10.3389/fpsyt.2021.628397.
175. Vlasenko B., Prylipko D., Wendemuth A. Towards robust spontaneous speech recognition with emotional speech adapted acoustic models // *35th German Conf. on Artificial Intelligence. German, 2012.* P. 103—107.
176. Wang K., Su G., Liu L., Wang S. Wavelet packet analysis for speaker-independent emotion recognition // *Neurocomputing*, 2020. V. 398, P. 257–264.
177. Williams C. E., Stevens K. N. Emotions and speech: Some acoustical correlates // *J. Acoust. Soc. Amer.* 1972. V.52. P. 1238—1250.
178. Xia J., Zhang H., Wen S., Yang S., Xu M. An efficient multitask neural network for face alignment, head pose estimation and face tracking // *Expert Systems with Applications.* 2022. – 205 p. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117368>.
179. Ying S., Xue-Ying Z., Jiang-He M., Chun-Xiao S., Hui-Fen. Nonlinear dynamic feature extraction based on phase space reconstruction for the classification of speech and emotion // *Mathematical Problems in Engineering.* 2020. V. 10. P. 1-15.
180. Young Deborah Rohm, Hong Benjamin D., Lo Tammy, Inzhakova Galina, Cohen Deborah A., Sidell Margo A. The longitudinal associations of physical activity, time spent outdoors in nature and symptoms of depression and anxiety during COVID-19 quarantine and social distancing in the United States // *Preventive Medicine.* 2022. V. 154. P. 106-165.
181. Zhou G., Hansen J.H., Kaiser, J.F. Nonlinear feature based classification of speech under stress // *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing.* 2001. V. 9. P. 201–216. doi:10.1109/89.905995.
182. Zwetsch I., Fagundes R., Russomano T., Scolari D. Digital signal processing in the differential diagnosis of benign larynx diseases // *Scientia Medica.* 2006. V. 16(3). P.109.