

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 004.89

СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ УТОМЛЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОСМОНАВТОВ

А.М. Кашевник, А.А. Карпов, Ю.А. Бубеев,
В.М. Усов, А.В. Иванов

Канд. техн. наук А.М. Кашевник; докт. техн. наук, проф. А.А. Карпов (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН)
Докт. мед. наук, проф. Ю.А. Бубеев; докт. мед. наук, проф. В.М. Усов;
канд. мед. наук А.В. Иванов (ГНИЦ РФ – ИМБП РАН)

Космическая медицина накопила уникальный опыт мониторинга состояния космонавтов на орбитальных станциях и имеет приоритеты в разработке системы психологического обеспечения экипажей в пилотируемых космических полетах. При этом остается актуальным вопрос поиска новых подходов к мониторингу психофизиологического состояния космонавта для выявления снижения работоспособности по типу умственного утомления в длительных полетах. В этом аспекте представляют интерес высокотехнологичные разработки в смежных областях знаний, к которым относятся неинвазивные методы детектирования утомления специалиста операторского профиля наземного транспортного средства и дистанционные методы выявления эмоциональных реакций в ходе коммуникации респондентов. Настоящий обзор посвящен анализу результатов исследований в интересах пилотируемых космических полетов. Рассматривается возможная область применения неинвазивных методов контроля психофизиологического состояния космонавта на бортовых стендах-тренажерах, в том числе при ведении речевого общения в экипаже и со специалистами Центра управления полетами (ЦУП).

Ключевые слова: длительные пилотируемые космические полеты, психофизиологическое состояние, речевая коммуникация, моделирование операторской деятельности, умственное утомление, астенизация, неинвазивные методы измерения, детектирование утомления специалиста операторского профиля

Systems for Detecting Fatigue While Simulating Operator Activity of Cosmonauts. A.M. Kashevnik, A.A. Karpov, Yu.A. Bubeev, V.M. Usov, A.V. Ivanov

Space medicine has accumulated the unique experience in monitoring the state of cosmonauts on orbital stations and has priorities in developing a psychological support system for crews during space flights. However, the search for new approaches to the monitoring of cosmonauts' psychophysiological state for detecting their performance degradation in the form of mental fatigue in long-duration flights remains topical. Therein, the high-tech developments in allied fields of knowledge, for instance, the non-invasive methods of detecting fatigue of the ground vehicle operator as well as remote methods of detecting emotional responses in the course of communication between respondents are of interest. The overview analyzes the results of studies performed in the interests of manned space exploration and considers the feasible application fields of non-invasive methods to monitor cosmonauts' psychophysiological state while working on the onboard simulation stands, including while talking between crew members or with the specialists of the Mission Control Center (MCC).

Keywords: long-term manned space missions, psychophysiological state, speech communication, simulation of operator activity, mental fatigue, asthenization, non-invasive measuring method, operators fatigue detection

1. Введение

В настоящее время в пилотируемой космонавтике применяются отработанные в многолетней практике методы и средства контроля психофизиологического состояния членов экипажа как в обычных условиях полета, так и при развитии нештатных ситуаций. При этом существует объективная потребность расширения доступных в полетных условиях проведения научных экспериментов методов и средств в интересах оперативности получения результатов и расширения возможности автоматического распознавания нарушений состояния работающего человека на основе бесконтактного съема информации. Врачи космической медицины и специалисты в области психофизиологии труда космонавтов в первую очередь заинтересованы в совершенствовании инструментария на базе современных методов цифровой медицины, распознавания образов, неинвазивного съема данных о функционировании систем организма человека, контроля поведенческих реакций и эмоциональных проявлений, в том числе, основанных на методах искусственного интеллекта. Человекоцентрический подход к построению системы контроля «космонавт – средства трудовой деятельности – рабочая среда» в области пилотируемой космонавтики предполагает выбор таких инструментальных решений, которые облегчают специалистам обеспечения космического полета изучение особенностей текущих циклограмм работ, взаимодействие и коммуникацию внутри экипажа и контроль операторской деятельности членов экипажа. В число значимых задач психологической поддержки экипажей входит анализ речевой коммуникации внутри экипажа

и со специалистами ЦУП, а также результативность выполнения той части научной программы полетов, которая предполагает выполнение экспериментов на бортовых компьютерных моделирующих стендах-тренажерах, предназначенных для оценки и прогнозирования надежности выполнения космонавтом сложных и ответственных динамических операций. При разработке требований к перспективным неинвазивным методам и дистанционным системам такого назначения необходимо аккумулировать высокотехнологические решения из смежных областей, в которых контролируются риски неблагоприятных событий, связанных с человеческим фактором. В первую очередь привлекают разработки для транспортных систем. Этой цели посвящен настоящий обзор состояния вопроса, направленный на поиск прототипов.

2. Определение потенциальных сфер применения неинвазивных технологий при контроле функционального состояния космонавта на орбитальных станциях

2.1. Направления внедрения неинвазивных способов получения данных о поведенческих и эмоциональных реакциях операторов транспортных средств

Проблему «человеческого фактора» в пилотируемых полетах принято рассматривать в аспектах возможных нарушений физиологического состояния космонавта, приводящих к возрастанию риска ошибочных действий и снижению резервов психической адаптации к факторам полета. В этой связи для обеспечения безопасности выполнения полетных операций необходимо осуществлять мониторинг психофизиологического состояния космонавта, направленный на выявление индикаторов снижения работоспособности. Отечественными исследователями были установлены закономерности динамики работоспособности в длительных полетах, выявлены факторы риска нарушения состояния на разных этапах полета и в зависимости от характера решаемых профессиональных задач. Показано наличие стрессирующих факторов космического полета, приводящих к снижению функциональных резервов организма, психической астенизации и развитию состояния умственного утомления [1, 2].

При медицинском обеспечении длительных космических полетов и психологической поддержке экипажа отечественные исследователи исходят из положения, что психофизиологическое состояние космонавта оказывает значимое влияние на качество операторской деятельности космонавтов [3]. Для ведения мониторинга состояния космонавта в длительном космическом полете разработана стройная система мероприятий различной направленности и глубины обследования. В контексте настоящего исследования стоит задача найти наилучшие точки приложения для неинвазивных способов

получения и обработки данных, которые не предполагают дополнительной нагрузки на экипаж и не вносят помехи в состав предметных действий циклограммы работ. На наш взгляд существуют реальные предпосылки и принципиальные возможности применения бесконтактных технологий мониторинга состояния членов экипажа.

Первая потенциально возможная область – использовать для этих целей моделирование профессиональной деятельности на стендах-тренажерах в космических экспериментах, входящих в состав научной программы космических полетов, а также изоляционных экспериментов на базе ИМБП РАН [4, 5].

Актуальность этого прикладного направления связана с изучением состояния утомления. В современной космической профессии все большую роль играет сложная, ответственная операторская работа, требующая постоянной сосредоточенности. Продолжительное выполнение такой работы приводит к развитию состояния умственного утомления. Утомление может иметь разную природу, однако для современных видов труда особую роль играет анализ именно умственного утомления, развивающегося в результате длительного выполнения когнитивно сложной деятельности [6, 7].

Известны психологические исследования [6, 8–10], в которых показана возможность изучения глазодвигательной активности человека для выявления индикаторов утомления, что используется при разработке систем автоматического детектирования таких состояний на основе видеотрекинга и других дополнительных методов.

Вторая потенциально возможная область применения бесконтактных технологий мониторинга состояния членов экипажа – получать прогностические индексы на основе автоматизированного анализа видео- и аудиоданных, получаемых с борта МКС, или по результатам обработки архива записей коммуникации. Эта возможность вытекает из существующей практики психологического сопровождения космического полета, составной частью которой является изучение речевого общения членов космических экипажей со специалистами ЦУП. Получение оперативных данных позволяет на постоянной основе проводить мониторинг психофизиологического состояния космонавтов непосредственно в ходе радиопереговоров без использования дополнительного оборудования и выделения дополнительного времени экипажа для проведения обследований [2].

2.2. Опыт практического применения автоматизированного анализа аудио- и видеозаписей для мониторинга состояния космонавтов

Представленная в данном обзоре позиция авторов и выбор методической платформы в значительной степени сформировались под влиянием опыта авиакосмической медицины и космической психологии, усилия специалистов которой, начиная с самых первых космических полетов, были направлены на создание теоретико-методологических основ психофизиологии

и психологии экстремальных условий жизнедеятельности и дистанционной медико-психологической поддержки экипажей в пилотируемых космических полетах [1, 2, 11].

В контексте обсуждаемого подхода известен опыт применения автоматизированного анализа видеозаписей членов космического экипажа во время их общения с операторами наземных служб [2, 12], а также использования таких источников данных, как звуковой поток и устная речь, для оперативного распознавания состояния космонавта.

Исторически сложилась практика, когда для регистрации состояния утомления ЧО по каналам коммуникации в большом диапазоне условий среды одним из предпочтительных является речевой канал. Этому способствовали менее жесткие, в сравнении с видеоданными, требования к каналам передачи данных (по пропускной способности, влиянию шумовых факторов). Перспективы практического применения результатов акустического анализа речи могут заключаться не только в создании более совершенных методов мониторинга функционального состояния человека-оператора, но и во включении их как элемента дистанционного сопровождения автономного режима функционирования малой группы, что на данном этапе развития медико-психологических исследований обеспечило формирование устойчивой тенденции динамического развития дистанционных технологий [2, 13].

2.3. Прототипы систем для распознавания состояний на основе нейросетевых алгоритмов по каналам аудио- и видеокommunikации респондентов

В настоящее время наблюдается значительный рост интереса исследователей к применению технологий искусственного интеллекта для удаленного выявления особенностей коммуникации респондентов.

В частности, для оценки эмоциональных реакций по результатам наблюдений за действиями и внешними проявлениями поведения участников коммуникации применяются методы анализа выражения лица (анализ мимики), разговорной речи, движения глаз (Eye Tracking) и др.

Задачи распознавания эмоций человека по выражению лица представляют практический интерес по ряду причин:

- 1) видеоизображения достаточно просто получить, используя периферийное оборудование компьютеров и/или носимые устройства;
- 2) современными методами из исходных данных удастся извлечь достаточно много признаков для распознавания эмоций по мимике;
- 3) имеется обширная зарубежная база данных для построения моделей распознавания, так как интерес большого числа разработчиков искусственных нейросетей (ИНС) к этой теме позволил за сравнительно короткий период времени сформировать достаточное число наборов данных (изображений лиц), организованных в так называемые базы данных или корпуса (*англ.*: Datasets), на основании которых тестируются точность и надежность цифровых моделей распознавания.

Отметим также, что разрешающая способность вычислительных алгоритмов возрастает по мере формирования обширных общедоступных баз данных и массива публикаций результатов тестирования разных конфигураций ИНС. В целом, распознавание эмоций человека по мимике и речи является важной научно-исследовательской проблемой, которая охватывает многие научные области и дисциплины, такие как компьютерное зрение, искусственный интеллект и др. В частности, во многих работах продемонстрировано использование для распознавания эмоции таких источников данных, как звуковой поток и устная речь [14–16]. Для акустического анализа аудиозаписей речи может использоваться компьютерная программа Praat, которая позволяет оценивать основные акустические характеристики речевого аудиосигнала: частота основного тона (ЧОТ), форманты, интенсивность сигнала (громкость), число голосовых импульсов, число нуль-пересечений, вариативность речевого сигнала по амплитуде и частоте и др. [17].

В работах [13, 18] показано, что выходные численные характеристики приложения Praat позволяют осуществлять контроль изменения функционального состояния человека и оценить степень психофизиологической напряженности говорящего.

В настоящее время известны отечественные разработки автоматического распознавания утомления и эмоционального реагирования человека на базе нейросетевых методов и специализированных корпусов данных [14, 15, 19–22].

Для формирования корпусов данных для последующего использования при решении задачи распознавания состояния утомления человека используют методики и аппаратно-программные комплексы, позволяющие синхронно регистрировать психофизиологические параметры, видеозаписи поведенческих реакций и аудиозапись речи человека. Такие условия создаются в наземных испытаниях, примером которых могут служить длительные изоляционные эксперименты ИМБП РАН [5, 23].

3. Опыт разработки индикаторов нарушения состояния специалиста операторского профиля и применения средств неинвазивного контроля

3.1. Мотивация поиска методов контроля для внедрения технологий детектирования состояния утомления специалиста операторского профиля

Современные исследования в области мониторинга человека отмечают существенный прогресс в отношении эксплуатационных характеристик носимых средств для контактного измерения психофизиологических параметров человека-оператора (ЧО), в том числе работающего в условиях герметически замкнутого пространства, что актуально для многих опасных

профессий. Однако при этом большинством авторов отмечается актуальность разработки средств дистанционного контроля состояния умственного утомления и психоэмоциональных нарушений состояния ЧО по мимике, речи и проявлениям поведенческих паттернов, что отвечает потребностям практики медицинского и психологического обеспечения лиц напряженных видов профессиональной деятельности, целям минимизации вносимых системами контроля помех работе ЧО.

Речь идет о профессиях, связанных с повышенной нагрузкой на функциональные системы восприятия внешней среды и сигналов от объекта управления, а также нервно-психическим напряжением из-за высокой ответственности за результаты деятельности. Известно, что такие условия труда могут приводить к развитию у человека состояния умственного утомления, что сопряжено с угрозой пропуска значимых сигналов и ошибок различения трудно дифференцируемых сигналов. В эргономике, медицине и психологии труда существует большой арсенал методов и методик для изучения утомления у работников разных сфер производства и транспорта, включая методы психологического анкетирования, применения специальных тестов, регистрации электрофизиологических показателей и др. [24].

Однако наряду с исследовательскими целями нормирования условий труда, трудовой нагрузки, выделения признаков астенизации, ведущих к профессионально обусловленным заболеваниям и пр., существует большой пласт практических постановок задач в ходе обучения, тренировки, определения рациональных циклограмм работ экипажа, когда при известных допущениях, в более узкой инструментальной и методической базе, правомерно говорить о целях экспресс-анализа производственной ситуации, о выявлении ранних признаков и индикаторов нарушения состояния ЧО [25–30].

Исходя из этого, можно утверждать, что дистанционный неинвазивный контроль за развитием утомления у специалистов операторского профиля в процессе их профессиональной деятельности является актуальной задачей, что подтверждается многочисленными работами в области детектирования нарушения состояния работоспособности водителей автомобилей, авиадиспетчеров, операторов промышленных объектов и других, преимущественно по типу утомления [31–37].

В статьях [31–37] выполнено исследование и проведен анализ способов получения характеристик человека, на основе которых можно косвенно говорить о состоянии утомления.

В результате изучения были выбраны наиболее часто встречающиеся методы определения утомления специалиста операторского профиля. Далее, найденные источники были классифицированы по наиболее распространенным методам получения значимых характеристик утомления. К ним относятся: анализ состояния и активности глаз, рта, углов поворота и наклона головы, а также окуломоторных характеристик. Выполнен сравнительный анализ, демонстрирующий возможности современных систем такого класса.

Неинвазивные методы определения функционального состояния утомления на основе анализа изображений не стесняют движения специалиста операторского профиля за рулем, при этом позволяя достичь требуемой точности.

3.2. Современный уровень отечественных и зарубежных разработок детектирования состояния утомления специалиста операторского профиля

В русле поставленных целей обзора можно указать на ряд экспериментальных отечественных исследований, в которых предложено использовать различные наблюдаемые феномены поведения и деятельности специалиста операторского профиля в контексте воспринимаемых сигналов от системы управления транспортным средством и из внешней среды [31–37].

Для исследований моделируемой операторской деятельности существенная деталь заключается в том, что развитие утомления проявляется в изменениях когнитивной сферы человека, происходит снижение сенсорной чувствительности в различных модальностях, что отражается в увеличении абсолютных и дифференциальных порогов для этих модальностей. Одним из наиболее важных показателей утомления является сужение объема внимания, сложности его переключения и распределения, что может свидетельствовать о нарушении процессов сознательного контроля за выполнением деятельности. Также часто наблюдается снижение эффективности кратковременной памяти, связанной с ухудшением удержания информации в системе кратковременного хранения и операций семантического кодирования [6].

В реальных условиях вождения обнаружение функционального состояния утомления может осуществляться на основе использования современных технологий компьютерного зрения для оценки наблюдаемых внешних признаков и ряда характеристик: открытость/закрытость глаз, частота моргания, частота зевания, продолжительность закрытия глаз, процент времени, в течение которого глаза закрыты (PERCLOS), положение головы, направление взгляда, кивание головой, изменение расстояния между веками (ELDC), скорость закрытия глаз (CLOSNO), скорость поворотов головой (ROT).

Далее представлены направления применения неинвазивных методов и методов дистанционного контроля состояния специалистов операторского профиля: детектирование утомления в режиме реального времени с помощью ИНС [25]; детектирование утомления на основе регистрации движения глаз [27]; детектирование утомления на основе ключевых точек лица, основанного на механизме внимания [28, 29]; детектирование с использованием носимых мобильных девайсов [30]; детектирование частоты сердечных сокращений (ЧСС) с использованием видеокамеры [32]; дистанционное определение насыщения тканей кислородом на основе анализа изображения лица [34]; дистанционное определение артериального давления на основе видео [35]; комбинированные методы детектирования на основе движений глаз, данных о частоте сердечных сокращений и видеоинформации [37].

На рис. 1 представлена схема построения систем неинвазивного съема. Предложено использовать две модальности данных для неинвазивного мониторинга космонавта: аудиоданные и видеоданные. На основе аудиоданных определяются эмоции и параметры речи космонавта. На основе видеоданных определяются его физиологические параметры: частота вдохов и выдохов, ЧСС и другие. Также отслеживается положение и производится анализ лица и тела. На основе анализа лица определяются состояние глаз, рта и мимика космонавта. На основе анализа тела определяется его положение, а также положение головы. На основе всех этих параметров делается заключение о степени утомления космонавта.

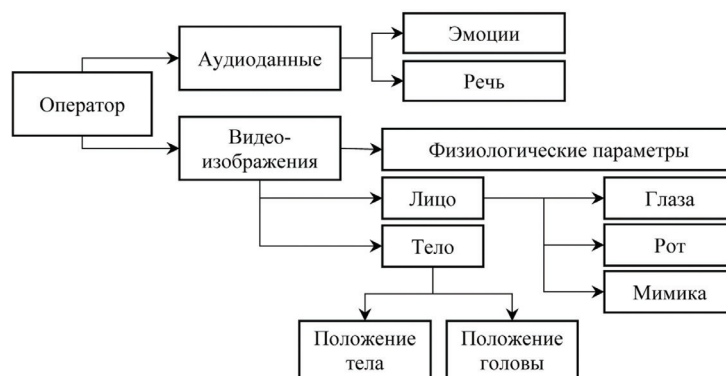


Рис. 1. Схема построения системы неинвазивного мониторинга космонавта

В табл. 1 и 2 представлено сравнение методов детектирования состояния специалиста операторского профиля.

Таблица 1

Сравнение методов детектирования утомления и отвлечения оператора

Вид нарушения	Подходы на основе биоэлектрических сигналов	Подходы на основе анализа воздействий управления	Подходы на основе анализа лица оператора
Утомление	Да	Да	Нет
Отвлечение	Нет	Да	Да

Таблица 2

Практические особенности методов детектирования

Характеристика метода	Качество детектирования		
	Подходы на основе биоэлектрических сигналов	Подходы на основе анализа воздействий управления	Подходы на основе анализа лица оператора
Точность	Очень хорошо	Хорошо	Хорошо
Простота	Сложно	Очень просто	Сложно
Скорость	Медленно	Быстро	Медленно

Современный бесконтактный метод видеотрекинга с помощью специальных камер, работающих в инфракрасном диапазоне, позволяет с большей точностью регистрировать многие показатели движений глаз и фиксации взора, включая вопросы детектирования умственного утомления [19].

4. Заключение

В настоящее время целый ряд видов профессиональной деятельности связан с продолжительной работой специалистов в условиях замкнутых гермообъектов. При этом на них длительно воздействуют неблагоприятные факторы обитаемости гермообъектов, психоэмоциональное напряжение, витальная угроза и другие, что негативно сказывается на их функциональном состоянии, вследствие чего повышается риск ошибочных действий, снижается эффективность и надежность их работы. К таким видам деятельности традиционно относят профессии космонавтов, летчиков и ряд других специальностей, связанных с воздействием вредных факторов техногенной среды в комбинации со значительными психоэмоциональными нагрузками. К перспективным составным элементам системы мониторинга состояния таких работников относят методы, основанные на неинвазивных методиках регистрации и обработки показателей и при этом не затрудняющих выполнение основных видов рабочих операций.

В настоящей статье были рассмотрены и проанализированы литературные источники по методам дистанционного распознавания изменений функционального состояния человека с помощью неинвазивных методов, в первую очередь, по теме выявления и детектирования утомления водителя на основе современных технологий видеоаналитики. По итогам выполненного обзора были получены результаты, содержащие применяемыми на практике методы детектирования с помощью искусственных нейросетей. В целом выполненный обзор дает основание рассматривать оправдавшие себя на практике решения как прототипы для экспериментального изучения психофизиологических состояний в условиях моделирования операторской деятельности с последующей адаптацией к применению на борту орбитальной станции.

5. Выводы

1. В настоящее время актуальной проблемой является рациональный выбор состава методов и показателей, которые помогают рационально построить циклограммы работ, режимы труда и отдыха, нормировать рабочую нагрузку, в том числе при выполнении научных экспериментов на борту орбитальной станции.
2. Результаты анализа проводимых исследований применительно к различным видам управления транспортными системами показали принципиальную возможность дистанционного выявления признаков (как ранних индикаторов) состояния умственного утомления человека неинвазивными

методами. Такие системы позволяют оценивать состояния человека-оператора дистанционно, не отрывая его от привычных условий деятельности.

3. Существенное улучшение качества дистанционной диагностики с помощью технологий искусственного интеллекта и неинвазивных средств измерений может существенно изменить результативность этого направления работ в области учета человеческого фактора в длительных пилотируемых космических полетах при использовании профессионально ориентированных методик и аппаратуры в составе стендов-тренажеров для моделирования и оценки операторской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Проблема психической астенизации в космическом полете / В.И. Мясников, С.И. Степанова, В.П. Сальницкий, О.П. Козеренко [и др.]. – Москва: СЛОВО, 2000. – 224 с.
- [2] Мясников, В.И. Предварительные результаты психического анализа коммуникаций экипажей Международной космической станции / В.И. Мясников, В.И. Гущин, А.К. Юсупова // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2005. – № 1. – С. 112–118.
- [3] Литвина, Д.В. Вопросы качества обработки и анализа психофизиологических исследований для предупреждения чрезвычайных ситуаций в условиях моделирования длительных космических полетов / Д.В. Литвина, Л.Б. Строгонова, В.И. Гущин // Качество жизни. – 2016. – № 3(11). – С. 37–39.
- [4] Итоги космического эксперимента «Пилот-Т» для моделирования взаимодействия в системе «человек-робот» / Ю.А. Бубеев, В.М. Усов, С.Ф. Сергеев, Б.И. Крючков [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53, № 7. – С. 65–75. – DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75
- [5] Основные результаты психофизиологических исследований в эксперименте «Марс-500» / И.Б. Ушаков, Б.В. Моруков, Ю.А. Бубеев, В.И. Гущин [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84, № 3. – С. 18–27.
- [6] Величковский, Б.Б. Когнитивные эффекты умственного утомления // Вестник Московского университета. – Серия 14. Психология. – 2019. – № 1. – С. 108–122.
- [7] Пучкова, А.Н. Экспериментальная модель исследования умственного утомления и адаптивной функции дневного сна для восстановления работоспособности / А.Н. Пучкова, О.Н. Ткаченко, В.Б. Дорохов // Экспериментальная психология. – 2013. – Т.6, № 1. – С. 48–60.
- [8] Ляпунов, С.И. Треморные колебания глаз как объективный показатель утомления водителей / С.И. Ляпунов, И.И. Шошина, И.С. Ляпунов // Физиология человека. – 2022. – Т. 48, № 1. – С. 89–96. – DOI: 10.31857/S013116462201009X
- [9] Yamada, Y. Detecting Mental Fatigue from Eye-Tracking Data Gathered While Watching Video: Evaluation in Younger and Older Adults / Y. Yamada, M. Kobayashi // Artif. Intell. Med. – 2018, Sep. – No 91. – P. 39–48. – DOI: 10.1016/j.artmed.2018. 06.005
- [10] Барабанщиков, В.А. Айттрекинг: методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике / В.А. Барабанщиков, А.В. Жегалло; Московский гор. психолого-пед. ун-т, Центр экспериментальной психологии. – Москва: Когито-Центр, 2014. – С. 117–119.

- [11] Дистанционное наблюдение и экспертная оценка: общение и коммуникация в задачах мед. контроля / Ф.Н. Усков, О.В. Кушнерева, Б.А. Попов [и др.]; отв. ред. П.В. Симонов, В.И. Мясников. – Москва: Наука, 1982. – 109 с.
- [12] Facial Expression Analysis with AFFDEX and FACET: A Validation Study / S. Stockli, M. Schulte-Mecklenbeck, S. Borer, A.C. Samson // *Behav. Res. Methods*. – 2018. – No 50(4). – P. 1446–1460.
- [13] Лебедева, С.А. Возможности компьютерного анализа акустических характеристик речи человека-оператора в условиях космического полета / С.А. Лебедева, Д.М. Швед, В.И. Гушин // *Пилотируемые полеты в космос*. – 2020. – № 3(36). – С. 109–124. – DOI: 10.34131/MSF.20.3.109-124
- [14] Мубаракшина, Р.Т. Обзор подходов к проблеме распознавания эмоций по параметрам устной речи / Р.Т. Мубаракшина, А.А. Яковенко // *Сб. научн. трудов XXIII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении»*, 2019. – Т. 1. – С. 392–397.
- [15] Verkholyak, O. A Bimodal Approach for Speech Emotion Recognition Using Audio and Text / O. Verkholyak, A. Dvoynikova, A. Karpov // *Journal of Internet Services and Information Security*. – 2021. – No 11. – P. 80–96. – DOI: 10.22667/JISIS.2021.02.28.080
- [16] Картавенко, М.В. Об использовании акустических характеристик речи для диагностики психических состояний человека // *Известия ТРТУ*. – 2005. – № 5. – С. 164–180.
- [17] Сороколетова, Н.Ю. Функциональные возможности компьютерного приложения PRAAT // *Иностранные языки: лингвистические и методические аспекты*. – 2014. – № 27. – С. 127–131.
- [18] Фролов, М.В. Особенности контроля состояния человека-оператора по показателям основного тона и спектра его речи / М.В. Фролов, Г.Б. Милованова // *Физиология человека*. – 2009. – Т. 35, № 2. – С. 136–138.
- [19] Распознавание утомления человека на основе анализа его речи с помощью нейросетевых технологий / А.В. Яковлев, В.О. Матыцин, В.А. Велюга, К.А. Найденова [и др.] // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика*. – 2023. – Т. 12, № 1. – С. 46–60. – DOI: 10.14529/cmse230103
- [20] Рюмина, Е.В. Сравнительный анализ методов устранения дисбаланса классов эмоций в видеоданных выражений лиц / Е.В. Рюмина, А.А. Карпов // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2020. – Т. 20, № 5. – С. 683–691. – DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-683-691
- [21] Двойникова, А.А. Аналитический обзор методов автоматического распознавания вовлеченности пользователя в виртуальную коммуникацию / А.А. Двойникова, И.А. Кагиров, А.А. Карпов // *Информационно-управляющие системы*. – 2022. – № 5. – С. 12–22. – DOI: 10.31799/1684-8853-2022-5-12-22
- [22] End-to-end Modelling and Transfer Learning for Audiovisual Emotion Recognition in the Wild / D. Dresvyanskiy, E. Ryumina, H. Kaya, M. Markitantov [et al.] // *Multimodal Technologies and Interaction*, 2022. – No 11, Vol. 6(2). – DOI: 10.3390/mti6020011
- [23] Эксперименты с изоляцией: прошлое, настоящее, будущее / В.И. Гушин, А.Г. Виноходова, Д.В. Комиссарова, М.С. Балаковский [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2018. – Т. 52, № 4. – С. 5–16. – DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-5-16

- [24] Новожилова, А.А. Особенности исследования профессионального утомления в физиологии труда / А.А. Новожилова, А.М. Гереев, А.Г. Меркулова // *Мед. труда и пром. экол.* – 2022. – № 62(4). – С. 238–246. – DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246
- [25] Ed-Doughmi, Y. Real-Time System for Driver Fatigue Detection Based on a Recurrent Neuronal Network. / Y. Ed-Doughmi, N. Idrissi, Y. Hbali // *J Imaging.* – 2020, Mar 4. – No 6(3), Vol. 8. – DOI: 10.3390/jimaging6030008
- [26] Fatigue Detection Method for UAV Remote Pilot Based on Multi Feature Fusion / Pan, Lei & Yan, Chongyao & Zheng [et al.] // *Electronic Research Archive.* – 2022. – No 31. – P. 442–466. – DOI: 10.3934/era.2023022
- [27] Coetzer, R.C. Eye Detection for a Real-time Vehicle Driver Fatigue Monitoring System / R.C. Coetzer, G.P. Hancke // In: 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). Baden-Baden, Germany, 2011. – P. 66–71. – DOI: 10.1109/IVS.2011.5940406
- [28] Gao, J. Research on Real-Time Face Key Point Detection Algorithm Based on Attention Mechanism / J. Gao, T. Yang // *Computational Intelligence and Neuroscience.* 2022, Jan 5. – P. 1–11. – DOI: 10.1155/2022/6205108
- [29] Yamada, Y. Detecting Mental Fatigue From Eye-Tracking Data Gathered While Watching Video: Evaluation in Younger and Older Adults / Y. Yamada, M. Kobayashi // *Artif Intell Med.* – 2018, Sep. – No 91. – P. 39–48. – DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.005
- [30] Cloud-Based Driver Monitoring System Using a Smartphone / A. Kashevnik, I. Lashkov, A. Ponomarev, N. Teslya [et al.] // *IEEE Sensors, IEEE.* – 2020. – Vol. 20, No 12. – P. 6701–6715.
- [31] Булыгин, А.О. Анализ современных исследований в области детектирования утомления водителя в кабине транспортного средства / А.О. Булыгин, А.М. Кашевник // *Системы анализа и обработки данных.* – 2021. – № 3 (83). – С. 19–36. – DOI: 10.17212/27822001202131936
- [32] Contactless Camera-Based Approach for Driver Respiratory Rate Evaluation in Vehicle Cabin / W. Othman, A. Kashevnik, I. Ryabchikov, N. Shilov // *Intelligent Systems and Applications, Proceedings of the 2022 Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2022.* – Vol. 2. – P. 429–442. – DOI: 10.1007/978-3-031-16078-3_29
- [33] Othman, W. Video-Based Real-Time Heart Rate Detection for Drivers Inside the Cabin Using a Smartphone. / W. Othman, A. Kashevnik // *2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS), November 2022.* – P. 1–5. – DOI: 10.1109/IoTais56727.2022.9975941
- [34] Contactless Oxygen Saturation Detection Based on Face Analysis: An Approach and Case Study / B. Hamoud, W. Othman, N. Shilov, A. Kashevnik // *Conference of Open Innovations Association, Fruct.* – 2023. – P. 54–62. – DOI: 10.23919/fruct58615.2023.10143059
- [35] Neural Network Model Combination for Video-Based Blood Pressure Estimation: New Approach and Evaluation. / B. Hamoud, A. Kashevnik, W. Othman, N. Shilov // *Sensors.* – 2023. – No 23(4). – P. 1–16. – DOI: 10.3390/s23041753
- [36] A Machine Learning-Based Correlation Analysis between Driver Behaviour and Vital Signs: Approach and Case Study / W. Othman, B. Hamoud, A. Kashevnik, N. Shilov [et al.] // *Sensors.* – 2023. – No 23(17). – P. 1–20.
- [37] OperatorEYEV: Operator Dataset for Fatigue Detection Based on Eye Movements, Heart Rate Data, and Video Information. Smartphones and Wearable Devices for

Human Behavior Monitoring, / S. Kovalenko, A. Mamonov, V. Kuznetsov, A. Bulygin [et al.] // *Sensors*. – 2023. – No 23(13). – P. 1–35. – DOI: 10.3390/s23136197

REFERENCES

- [1] Problem of Mental Asthenization in Space Flight / V.I. Myasnikov, S.I. Stepanova, V.P. Salnitsky, O.P. Kozerenko [et al.]. – Moscow: SLOVO, 2000. – 224 p.
- [2] Myasnikov, V.I. Preliminary Results of the Mental Analysis of Communications of the Crews of the International Space Station / V.I. Myasnikov, V.I. Gushchin, A.K. Yusupova // *Bulletin of the Tomsk State Pedagogical University*. – 2005. – No 1. – P. 112–118.
- [3] Litvina, D.V. Quality Issues of Processing and Analysis of Psychophysiological Studies to Prevent Emergencies in the Conditions of Modeling Long-Duration Space Flights / D.V. Litvina, L.B. Stroganova, V.I. Gushchin // *Quality of Life*. – 2016. – No 3(11). – P. 37–39.
- [4] The Results of the Pilot-T Space Experiment for Modeling Interaction in the Human-Robot System / Yu.A. Bubeev, V.M. Usov, B.I. Kryuchkov, L.D. Syrkin [et al.] // *Aerospace and Environmental Medicine*. – 2019. – Vol. 53, No 7. – P. 65–75. – DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-7-65-75
- [5] Main Results of Psychophysiological Studies in the Experiment “Mars-500” / I.B. Ushakov, B.V. Morukov, Yu.A. Bubeev, V.I. Gushchin [et al.] // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. – 2014. – Vol. 84, No 3. – P. 18–27.
- [6] Velichkovsky, B. Cognitive Effects of Mental Fatigue // *Bulletin of the Moscow University*. – Ep. 14. Psychology. – 2019. – P. 108–122. – DOI: 10.11621/vsp.2019.01.108
- [7] Puchkova, A.N. Experimental Model for the Study of Mental Fatigue and Adaptive Function of Daytime Sleep to Restore Performance / A.N. Puchkova, O.N. Tkachenko, V.B. Dorokhov // *Experimental Psychology*. – 2013. – Vol. 6, No 1. – P. 48–60.
- [8] Lyapunov, S.I. Tremor Eye Movements as an Objective Marker of Driver’s Fatigue / S.I. Lyapunov, I.I. Shoshina, I.S. Lyapunov // *Human Physiology*. – 2022. – Vol. 48, No 1. – P. 189–96. – DOI: 10.1134/S0362119722010091
- [9] Yamada, Y. Detecting Mental Fatigue from Eye-Tracking Data Gathered While Watching Video: Evaluation in Younger and Older Adults / Y. Yamada, M. Kobayashi // *Artif. Intell. Med*. – 2018, Sep. – No 91. – P. 39–48. – DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.005
- [10] Barabanshchikov, V.A. Eytracking: Methods of Registering Eye Movements in Psychological Research and Practice / V.A. Barabanshchikov, A.V. Zhegallo; Moskovsky Gor. psychological and Pedagogical. UNT, Center for Experimental Psychology. – Moscow: Kogito-Center, 2014. – P. 117–119.
- [11] Remote Observation and Expert Evaluation: Communication and Communication in the Tasks of Medical Control / F.N. Uskov, O.V. Kushnereva, B.A. Popov [et al.]; ed. P.V. Simonov, V.I. Myasnikov. – Moscow: Nauka, 1982. – 109 p.
- [12] Facial Expression Analysis with AFFDEX and FACET: A Validation Study / S. Stockli, M. Schulte-Mecklenbeck, S. Borer, A.C. Samson // *Behav. Res. Methods*. – 2018. – No 50(4). – P. 1446–1460.
- [13] Lebedeva, S.A. The Potentials of Computer Analyzing the Acoustic Characteristics Of A Human Speech Under Spaceflight Conditions / S.A. Lebedeva, D.M. Shved, V.I. Gushchin // *Manned Spaceflight*. 2020. – No 3(36). – P. 109–124. – DOI: 10.34131/MSF.20.3.109-124

- [14] Mubarakshina, R.T. Review of Approaches to the Problem of Emotion Recognition By the Parameters of Oral Speech / R.T. Mubarakshina, A.A. Yakovenko // Proc. of XXIII International Scientific-Practical Conference. System Analysis in Design and Management, 2019. – Vol. 1. – P. 392–397.
- [15] Verkholyak, O.A Bimodal Approach for Speech Emotion Recognition Using Audio and Text / O. Verkholyak, A. Dvoynikova, A. Karpov // Journal of Internet Services and Information Security. – 2021. – No 11. – P. 80–96. – DOI: 10.22667/JISIS.2021.02.28.080
- [16] Kartavenko, M.V. On the Use of Acoustic Characteristics of Speech for the Diagnosis of Human Mental States // Izvestiya TRTU. – 2005. – No 5. – P. 164–180.
- [17] Sorokoletova, N.Y. Functionalities of the Computer Application PRAAT // Foreign Languages: Linguistic and Methodical Aspects. Interuniversity Collection of Scientific Works. – 2014. – No 27. – P. 127–131.
- [18] Frolov, M.V. Monitoring the Functional State of Human Operators by the Parameters of the Fundamental Tone and Spectrum of Speech / M.V. Frolov, G.B. Milovanova // Human physiology. – 2009. – Vol. 35, No 2. – P. 136–138.
- [19] Recognition of Human Fatigue Based on the Analysis of His Speech Using Neural Network Technologies / A.V. Yakovlev, V.O. Matytsin, V.A. Velyuga, K.A. Naidenova [et al.] // Bulletin of SUSU. Series: Computational Mathematics and Computer Science. – 2023. – Vol. 12, No. 1. – P. 46–60. – DOI: 10.14529/cmse230103
- [20] Ryumina, E.V. Comparative Analysis of Methods to Eliminate Imbalance Classes of Emotions in Video Data of Facial Expressions / E.V. Ryumina, A.A. Karpov // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2020. – Vol. 20, No 5. – P. 683–691. – DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-20-5-683-691
- [21] Dvoynikova, A.A. Analytical Review of Methods for Automatic Recognition of User Engagement in Virtual Communication / A.A. Dvoynikova, I.A. Kagiroy, A.A. Karpov // Information Management Systems. – 2022. – No 5. – P. 12–22. – DOI: 10.31799/1684-8853-2022-5-12-22
- [22] End-to-end Modelling and Transfer Learning for Audiovisual Emotion Recognition in the Wild / D. Dresvyanskiy, E. Ryumina, H. Kaya, M. Markitantov [et al.] // Multimodal Technologies and Interaction, 2022. – No 11, Vol. 6(2). – DOI: 10.3390/mti6020011
- [23] Experiments with Isolation: Past, Present, Future / V.I. Gushchin, A.G. Vinokhodova, D.V. Komissarova, M.S. Belakovsky [et al.] // Aerospace and Environmental Medicine. – 2018. – V. 52, No. 4. – P. 5–16. – DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-5-16
- [24] Novozhilova, A.A. Features of Studying Occupational Fatigue in Labor Physiology (Literature Review) / A.A. Novozhilova, A.M. Geregei, A.G. Merkulova // Occupational Medicine and Industrial Ecology. – 2022. – No. 62(4). – P. 238–246. – DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246
- [25] Ed-Doughmi, Y. Real-Time System for Driver Fatigue Detection Based on a Recurrent Neuronal Network. / Y. Ed-Doughmi, N. Idrissi, Y. Hbali // J Imaging. – 2020, Mar 4. – Vol. 8, No 6(3). – DOI: 10.3390/jimaging6030008
- [26] Fatigue Detection Method for UAV Remote Pilot Based on Multi Feature Fusion / Pan, Lei & Yan, Chongyao & Zheng [et al.] // Electronic Research Archive. – 2022. – No 31. – P. 442–466. – DOI: 10.3934/era.2023022.

- [27] Coetzer, R.C. Eye Detection for a Real-Time Vehicle Driver Fatigue Monitoring System / R.C. Coetzer, G.P. Hancke // In: 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). Baden-Baden, Germany, 2011. – P. 66–71. – DOI: 10.1109/IVS.2011.5940406
- [28] Gao, J. Research on Real-Time Face Key Point Detection Algorithm Based on Attention Mechanism / J. Gao, T. Yang // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2022, Jan 5. – P. 1–11. – DOI: 10.1155/2022/6205108
- [29] Yamada, Y. Detecting Mental Fatigue from Eye-Tracking Data Gathered While Watching Video: Evaluation in Younger and Older Adults / Y. Yamada, M. Kobayashi // Artif Intell Med. – 2018, Sep. – No 91. – P. 39–48. – DOI: 10.1016/j.artmed.2018.06.005
- [30] Cloud-Based Driver Monitoring System Using a Smartphone / A. Kashevnik, I. Lashkov, A. Ponomarev, N. Teslya [et al.] // IEEE Sensors, IEEE. – 2020. – Vol. 20, No 12. – P. 6701–6715.
- [31] Bulygin, A.O. Analysis of Modern Research in the Field of Detecting Driver Fatigue in the Cabin of a Vehicle / A.O. Bulygin, A.M. Kashevnik // Data Analysis and Processing Systems. – 2021. – No 3 (83). – P. 19–36. – DOI: 10.17212/27822001202131936
- [32] Contactless Camera-Based Approach for Driver Respiratory Rate Evaluation in Vehicle Cabin / W. Othman, A. Kashevnik, I. Ryabchikov, N. Shilov // Intelligent Systems and Applications, Proceedings of the 2022 Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2022. – Vol. 2. – P. 429–442. – DOI: 10.1007/978-3-031-16078-3_29
- [33] Othman, W. Video-Based Real-Time Heart Rate Detection for Drivers Inside the Cabin Using a Smartphone. / W. Othman, A. Kashevnik // 2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS), November 2022. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/IoTaIS56727.2022.9975941
- [34] Contactless Oxygen Saturation Detection Based on Face Analysis: An Approach and Case Study / B. Hamoud, W. Othman, N. Shilov, A. Kashevnik // Conference of Open Innovations Association, Fruct. – 2023. – P. 54–62. – DOI: 10.23919/fruct58615.2023.10143059
- [35] Neural Network Model Combination for Video-Based Blood Pressure Estimation: New Approach and Evaluation. / B. Hamoud, A. Kashevnik, W. Othman, N. Shilov // Sensors. – 2023. – No 23(4). – P. 1–16. – DOI: 10.3390/s23041753
- [36] A Machine Learning-Based Correlation Analysis Between Driver Behaviour and Vital Signs: Approach and Case Study / W. Othman, B. Hamoud, A. Kashevnik, N. Shilov [et al.] // Sensors. – 2023. – No 23(17). – P. 1–20.
- [37] Operator EYEVF: Operator Dataset for Fatigue Detection Based on Eye Movements, Heart Rate Data, and Video Information. Smartphones and Wearable Devices for Human Behavior Monitoring, / S. Kovalenko, A. Mamonov, V. Kuznetsov, A. Bulygin [et al.] // Sensors. – 2023. – No 23(13). – P. 1–35. – DOI: 10.3390/s23136197