

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

## THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 004

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОТБОРА КОСМОНАВТОВ И БОРТОВЫХ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Ю.М. Батурин, Б.И. Крючков

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации,  
докт. юрид. наук, чл.-корр. РАН, проф. Ю.М. Батурин;  
докт. техн. наук Б.И. Крючков  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье оценивается состояние развития и области применения одного из новых научных направлений – нейроинформационных технологий. Анализируются возможности их применения в пилотируемой космонавтике в интересах отбора космонавтов, их текущего медицинского освидетельствования, изучения слаженности (сработанности) деятельности экипажей, реализации научных программ на пилотируемых космических комплексах (ПКК). Рассматриваются основные научные, медицинские, этические и правовые аспекты применения нейроинформационных технологий.

**Ключевые слова:** отбор космонавтов, нейроинформационные технологии, нейровизуализация, нейродетектор, нейроны, нейрокогеренция, научные эксперименты

#### **Application of Neuroinformation Technologies for Selection of Cosmonauts and On-Board Scientific Experiments. Yu.M. Baturin, B.I. Kryuchkov**

The paper assesses the development state and application fields of one of the new scientific directions – neuroinformation technologies. The possibilities of their application in manned space exploration are analyzed in the interests of cosmonaut selection, their current medical examination, studying the coherence (harmony) of the crews' activities, carrying out scientific programs on manned space complexes (MSC). The main scientific, medical, ethical and legal aspects of the application of neuroinformation technologies are considered.

**Keywords:** cosmonaut selection, neuroinformation technologies, neuroimaging, neurodetector, neurons, neurocoherence, scientific experiments

## **Почему нужно совершенствовать методы отбора космонавтов**

В отечественной системе отбора и подготовки космонавтов используются четыре вида отбора [1]. Они обеспечивают проверку претендентов на соответствие медицинским требованиям, требованиям по физической подготовленности, требованиям по образованию и профессиональной пригодности, психологическим требованиям. Существующая в настоящее время система отбора нацелена на обеспечение полетов космонавтов на Международной космической станции (МКС) и базируется на 60-летнем опыте пилотируемой космонавтики.

В рамках принятых видов отбора используются как традиционные, так и различные новые технологии. К последним можно отнести новые методы и средства психологического тестирования, методы и средства компьютерной томографии, медицинские методы и средства магнитно-резонансной томографии (МРТ), методы и средства тестирования способностей претендентов к различным видам операторской деятельности. Несмотря на это, существующие технологии не гарантируют 100-процентного положительного результата отбора претендентов в космонавты, что характерно не только для отечественной системы отбора, но и для подобных зарубежных систем и технологий. История пилотируемой космонавтики знает немало подобных примеров. Даже в первые десятилетия XXI века имели место случаи, когда путь от зачисления в отряд до выполнения космического полета успешно преодолевали лишь 75–87 % человек из группы отобранных кандидатов. Подобные факты стимулируют поиск новых технологий отбора, поскольку применение только имеющихся несет в себе риски срыва космических программ или как минимум, экономического ущерба от напрасно затраченных средств на подготовку к полетам потенциально непригодных кандидатов.

При разработке новых подходов к отбору следует учитывать, что в системе отбора количество используемых технологий должно быть оптимальным. С одной стороны, их не должно быть слишком много, чтобы процедуры отбора не превращались в чрезмерно долгий процесс. Такое состояние возможно, если они нацелены лишь на изучение отдельных, частных (их могут быть десятки) характеристик претендентов.

С другой – при недостатке каких-либо технологий возникает риск «недообследования» претендентов. Желательно, чтобы принятые технологии отбора обладали некоторыми качествами комплексности, что позволяло бы изучить характеристики кандидатов в отряд космонавтов в приемлемые сроки, например, за пять-шесть месяцев, а не за год или полтора.

Технологий отбора должно быть ровно столько, чтобы при обследовании и тестировании претендентов они обеспечивали выявление всех необходимых профессионально важных качеств в заданные сроки.

В свете перспективных программ полетов человека на Луну и в дальний космос к отбору их участников будут предъявляться еще более жесткие требования, чем к «обычным» околоземным орбитальным, в том числе длительным (более трех месяцев) и сверхдлительным (до года) полетам. Специфика этих требований будет определяться необходимостью работы экипажей ПКК в условиях высокой автономности пилотируемых миссий и сложных условиях напланетной деятельности (например, на Луне или Марсе). В рамках предлагаемой новой Российской орбитальной станции (РОС) к космонавтам также могут предъявляться более высокие требования, например, по медицине и психологии, поскольку экипажам придется работать на полярных орбитах в условиях воздействия высоких уровней радиации. Кроме того, они должны быть готовы к действиям в более сложных, чем ранее, условиях в случае нештатных посадок ПКА в разных климатогеографических зонах. При этом им потребуется не только квалифицированно владеть профессиональными навыками, но и обладать психологическими качествами, обеспечивающими слаженную работу экипажа в непривычных и экстремальных природных условиях.

Заметим также, что новые полеты должны быть в большей степени, чем ранее, ориентированы на выполнение научно-прикладных исследований (НПИ), космических экспериментов (КЭ) и целевых работ, проводимых на больших расстояниях от Земли, вне зон радиовидимости, в точках либрации, на Луне или Марсе в условиях длительной изоляции экипажа ПКК. При этом возможны большие объемы ВКД в экстремальных условиях напланетной деятельности (гравитация, метеориты, радиация, освещенность, сложный рельеф местности, пылевые бури и др.).

В работе [1] предложен ряд новых технологий отбора космонавтов, рассчитанных на применение в перспективных пилотируемых космических программах. В частности, к ним относятся методы и средства использования ДНК-диагностики, полиграфа, тестирования на естественных и искусственных аналогах условий деятельности космонавтов. Значительный потенциал в повышении качества отбора космонавтов для будущих миссий имеется в использовании критериально-ориентированных экспертных систем, позволяющих интегрировать инструментальные методы исследований, психофизиологические средства и математические модели.

В дополнение к ним можно назвать также технологию газоразрядной визуализации (ГРВ), называемую обычно ГРВ-биоэлектрография или метод Кирлиан [2]. Идею использования ГРВ для отбора специалистов с высоким уровнем стресса (авиационных диспетчеров, альпинистов и др.) разрабатывали британские специалисты в период 2000–2005 гг. На практике ГРВ-технология в интересах отбора была реализована К.Г. Коротковым при оценивании фактора психологической готовности спортсменов к соревнованиям высокого уровня. В 2019–2021 годах С.С. Волков разработал методику применения ГРВ при отборе наземных операторов для эксплуатации сложных

системотехнических комплексов (СТК). Кроме стандартных ГРВ-камеры, блока датчиков и персонального компьютера, в состав предложенной им технологии вошли специальное программное обеспечение, созданное на методах кластерного анализа и обработки параметров измерений по правилам нечеткой логики; база данных; алгоритмы диагностики, построенные на основе правил П. Менделя; методики автоматизированной обработки данных и другое. Апробация предложенной ГРВ-технологии на операторах СТК дала положительные результаты.

Перечисленные новые методы и технологии в интересах отбора космонавтов пока рассматриваются лишь как предложения на перспективу и только прорабатываются. Наряду с ними целесообразно оценить возможности нейроинформационных технологий, которые в современной космонавтике пока еще не нашли применения. По сравнению с существующими технологиями отбора они имеют ряд преимуществ, в том числе и возможности комплексного оценивания ряда профессионально важных качеств претендентов.

### **Нейроинформационные технологии: понятие, состояние развития, возможности применения**

Терминология в этой новейшей научной области еще не устоялась. Под нейроинформационными технологиями иногда понимают нейросети, нейрокомпьютеры, однако они лишь частный случай нейроинформационных технологий. В более общем случае они охватывают медицинскую технику исследования мозга человека с поддержкой аппаратно-программных комплексов, обеспечивающих визуализацию и интерпретацию его нейронной активности [3]. В рамках данного исследования под нейроинформационными технологиями будем понимать методы и средства исследований нейронной организации и активности мозга человека с целью сохранения высокой работоспособности космонавтов в длительных космических миссиях при воздействии различных негативных факторов космического полета. Нейроинформационные технологии включают средства регистрации мозговой активности, машинной обработки и интерпретации данных, модели и устройства переработки информации.

В принципе, получение и использование данных исследования мозга конкретных людей не представляют ничего нового. Их применяют для определения последствий черепно-мозговых травм и при диагностике эпилепсии. Данные электроэнцефалографии (ЭЭГ, EEG) используются в судах США с 1950 годов, и позднее – в других странах. В тех же целях с 1970 годов использовалась компьютерная томография. Сегодня чаще используется функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ, fMRI). ЭЭГ и фМРТ – два исследовательских метода, давно принятые медицинской практикой для получения данных об активности и структуре головного мозга человека.

Электроэнцефалография – высокоинформативный метод диагностики состояния нервной системы, основанный на регистрации биоэлектрических потенциалов (точнее, разности потенциалов) коры головного мозга в процессе его жизнедеятельности. Детектор лжи, основанный на электроэнцефалографии, с помощью закрепленных на голове испытуемого датчиков регистрирует электрическую активность головного мозга в ответ на определенные раздражители (event related potential), которыми, к примеру, могут быть слова или изображения [4]. Регистрирующие электроды располагают в определенных зонах головы так, чтобы на записи были представлены все основные отделы мозга. Получаемая запись – ЭЭГ является суммарной электрической активностью многих миллионов нейронов. На практике ЭЭГ отводят с помощью электродов, расположенных на интактных покровах головы. Электрические потенциалы усиливают и регистрируют. В электроэнцефалографах предусмотрено 16–24 и более идентичных усилительно-регистрирующих блоков (каналов), позволяющих одновременно записывать электрическую активность от соответствующего количества пар электродов, установленных на голове обследуемого. Современные электроэнцефалографы создают на базе компьютеров. Усиленные потенциалы преобразуют в цифровую форму; непрерывная регистрация ЭЭГ отображается на мониторе и одновременно записывается в память. Получаемая запись представляет собой нейровизуализацию суммарной электрической активности миллионов нейронов.

У ЭЭГ есть ограничения. Во-первых, сигналы ЭЭГ могут измеряться только в коре головного мозга, оставляя глубокие структуры мозга без внимания. Во-вторых, электрический сигнал, излучаемый клетками в коре головного мозга, искажается тканью между электродами и мозгом. Волосы и кожа головы, кости и их структура, арахноидальная и пиалярная мозговые оболочки, а также расположенные над ними кровеносные сосуды (артерии и вены) искажают электрические сигналы. В-третьих, ЭЭГ обнаруживает только медленную активность. Сигнал ЭЭГ представляет собой узкий спектр, состоящий из потенциалов, генерируемых входами в дендриты, а не потенциалов действия, генерируемых в результате обработки информации в отдельных клетках.

Указанных недостатков лишена магнитоэнцефалография (МЭГ, MEG) – технология, позволяющая измерять и визуализировать магнитные поля, возникающие вследствие электроактивности мозга. Это очень дорогой и более точный инструмент. Магнитные датчики могут считывать сигналы, генерируемые клетками мозга. В техническом плане МЭГ содержат сверхпроводники, которые работают только при очень низких температурах, поэтому в аппаратуре МЭГ датчики погружены в ванну с жидким гелием. «Шапочка», надеваемая на испытуемого в МЭГ-тестах, на самом деле представляет собой довольно большую емкость, наполненную гелием. Поскольку магнитные поля проникают всюду, запись должна проводиться в специально экранированном помещении, чтобы изолировать сигналы мозга испытуемого.

Поэтому МЭГ еще долго не удастся использовать на борту, а только в наземных клинических условиях. У МЭГ также есть ограничения. Во-первых, трудно выделить сигнал МЭГ из шума и, во-вторых, сложна математическая обработка сигналов.

Функциональная магнитно-резонансная томография детектирует изменения объема кровотока и уровня насыщения крови кислородом, «...морфофункционально связанных с идентификацией работающих нейронных сетей, образованием новых и реконструкцией предсуществующих нейронных ансамблей» [5, с. 4], что дает возможность увидеть, как мозг «работает». фМРТ – это метод неинвазивного измерения физиологических коррелятов нейронной активности.

Функциональная МРТ включает в себя два типа наблюдений. Первый – структурное сканирование – традиционная магнитно-резонансная томография (МРТ), во многом схожая с компьютерной аксиальной томографией (КТ) или рентгеновским 3D-снимком. Оно различает типы мозгового вещества, обеспечивая изображение физической формы и контуров мозга [6]. Вторым типом наблюдения является функциональное сканирование, косвенно измеряющее изменения нейронной активности во всем мозге, но оно не выявляет значительной части физиологической структуры мозга. Таким образом, чтобы получить «сканирование мозга», функциональные данные налагаются поверх структурного сканирования, как будто складываются две прозрачные пленки.

Чтобы понять, что измеряет фМРТ, представим поток движения на нескольких близко проложенных дорогах, ведущих в одном направлении. Предположим, что мы хотим выяснить интенсивность трафика в час пик (максимум мозговой активности), но не можем подсчитать количество машин, потому что они движутся слишком быстро (нейронная активность). Каким иным способом мы могли бы решить поставленную задачу? Мы могли бы оценить изменения в интенсивности дорожного движения с течением времени, например, замеряя насыщенность выхлопных газов в атмосфере в разных местах с течением времени. Затем мы могли бы наложить картину изменения загрязнения воздуха на карту дорог, чтобы понять, где движение было более интенсивным в час пик. Этот тип косвенных измерений аналогичен измерениям, которые мы получаем в результате фМРТ.

Функциональная МРТ опирается на следующую логическую цепочку: мышление вызывает нейронную активность в мозге; нейронная активность требует энергетических ресурсов; когда ресурсы истощаются, организм должен пополнить их; ресурсы поставляются через кровь. Таким образом, когда вы думаете о чем-то (в приведенном примере – увеличивается трафик, который не поддается прямому измерению), зона мозга, ответственная за продуцирование мыслей о трафике, требует больше крови (по аналогии, измерения загрязненности воздуха). Точно так же, функциональная МРТ показывает, как количество крови, притекающее к различным зонам мозга,

изменяется в зависимости от когнитивной задачи и прилагаемых умственных усилий. Обычно это делается с помощью изображений, отражающих количество кислорода в крови по всему мозгу. Функциональная МРТ считается наиболее популярным методом нейровизуализации.

МРТ имеет преимущество перед другими методами изучения мозга. Она не использует излучение, как при рентгене, КТ или позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ, РЕТ), которая генерирует изображения поперечных срезов мозга и обеспечивает гораздо большую глубину измерения, чем методы структурного сканирования мозга. Несмотря на многочисленные преимущества, у МРТ есть и ограничения. Например, этим методом не оценить внутренние или глубокие структуры мозга, такие как стриатум, таламус и ствол мозга. МРТ может предоставить только изображения коры головного мозга, расположенной над остальной частью мозга. Кроме того, МРТ может обеспечить изображение только в том случае, если сканируемый субъект совершенно неподвижен, поскольку любое движение может внести изменения в изображение и снизить разрешение. Например, такие движения, как чрезмерное моргание, движения челюсти и рта или легкий тремор ухудшают качество изображения. Эта проблема решается путем увеличения времени сканирования за счет повторной выборки и путем исключения изображений с артефактами движения из окончательного среднего значения [7].

Применяется и такой метод визуализации мозга как волоконная трактография (ВТ). Он был применен для изучения изменений в структуре мозга после космического полета. Выяснилось, что структурные изменения происходят в сенсомоторных трактах белого вещества мозга, которое отвечает за связь между серым веществом и мозолистым телом, а также между различными областями серого вещества. Белое вещество – канал связи мозга, а серое вещество – место, где происходит обработка информации. Обнаружены изменения в нейронных связях между несколькими моторными областями мозга – мозговые центры, в которых иницируются команды для движений. Изменения в них происходят из-за невесомости по мере адаптации космонавта к новой по сравнению с Землей стратегии движения и сохраняются на протяжении многих месяцев. ВТ-метод помог обнаружить изменения. Он дает своего рода схему проводки мозга (рис. 1) [8, 9].

Сегодня уже внедряется новая технология нейровизуализации – функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия (functional near-infrared imaging – fNIRI), с помощью которой активность мозга измеряется через гемодинамические реакции, связанные с нейроактивностью. fNIRI доступнее fMRI и не имеет ограничений по среде использования.

В данной статье мы не обсуждаем вопросы выделения сигнала из шума и обеспечения корректности измерений, что требует отдельной большой дискуссии.

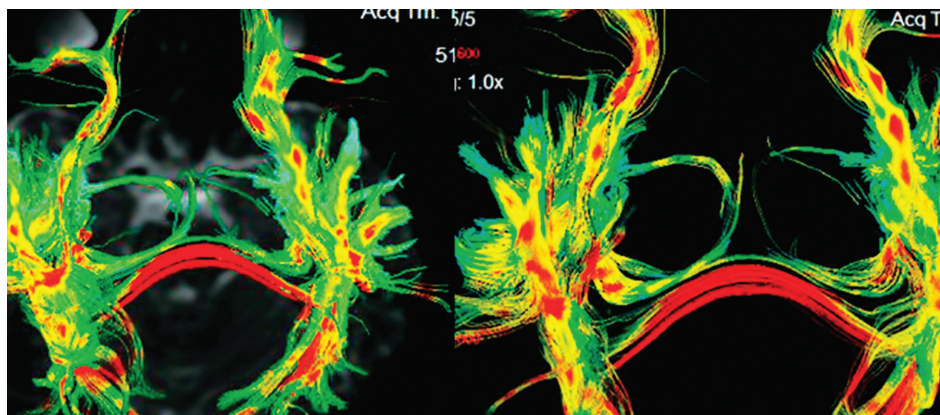


Рис. 1. Визуализация путей проводимости головного мозга (зрительный тракт) методом магнитно-резонансной трактографии. Источник [8, с. 67]

### **Возможности использования нейроинформационных технологий при отборе и медобследованиях космонавтов**

Представим, что при отборе в космонавты претенденту задают вопрос: «Зачем вы хотите полететь в космос?», а он бодрым голосом начинает рассказывать, что его с детства интересовала сборка крупногабаритных конструкций в экстремальных условиях, и вдруг начинает мигать красным цветом транспарант «Не искренне». Это мечта отборочной комиссии – проверить с высокой точностью достоверность ответа и выявить истинные мотивы кандидата. Для этого могут быть использованы нейроинформационные технологии.

В США с помощью EEG и fMRI полицейские уже успешно «читают» по «образам» (имиджам) реакций мозга цифровые пароли и на простые вопросы получают «молчаливые ответы»: «да, я там был», «нет, я его не видел», которые возникают в мозге опрашиваемого «автоматически», без его сознательных усилий, даже если он и отказывается отвечать [10]. Такие «образы» получили в полицейской практике Соединенных Штатов и других англоязычных стран название ««Дактилоскопия» мозга» (Brain Fingerprinting). В работе [11] вводится термин «экефалоскопия», образованный по аналогии с «дактилоскопией» (εγκέφαλος – греч. мозг и σκοπέω – греч. смотрю, наблюдаю). «Молчаливые ответы» могут возникать и без заданных вопросов при взгляде на фотографии, вещи, документы. С помощью технологии Brain Fingerprinting (прохождение электрохимического импульса по нейронам мозга фиксируется как волна и предьявляется пользователю с помощью методов нейровизуализации) регистрируется наличие связи между фактами и устанавливается: было ли подвергнутое нейроисследованию лицо вовлечено в то или иное событие. Уже сегодня нейродоказательства принимаются



и рассматриваются в судах зарубежных стран. Это говорит о принципиальной возможности использования при отборе кандидатов в космонавты нейроринформационного детектора лжи.

Как мы помним, функциональная нейровизуализация регистрирует активность мозга в определенных зонах в разные моменты времени. Выявить обман (или «проверить истину») можно путем сопоставления изучаемой модели активности мозга во время опроса с обобщенными моделями мозговой активности, построенной по данным мозговой активности людей, заведомо говоривших неправду.

Нейровизуализация коррелятов правды может проводиться в ходе обычной беседы, когда испытуемому представляют на экране компьютера сначала отдельные слова, затем фразы, фотографии, содержащие сюжеты о существенных особенностях реальной подготовки космонавтов, попеременно с другими, не имеющими отношения к космонавтике, стимулами. Мозговые реакции на стимулы измеряются. С помощью компьютерного анализа реакций мозга могут быть обнаружены характерные мозговые импульсы. Когда человек видит что-то значимое лично для него, его «реакция характеризуется специфическим паттерном мозгового импульса, известным как P300-MERMER (Memory and Encoding Related Multifaceted Electroencephalographic Response). Реакции мозга анализируются для определения того, хранится ли проверяемая конкретная информация в мозге испытуемого или нет» [12, с. 115]. В результате устанавливается истинны или ложны его ответы [13, с. 81–82].

подавляющее большинство исследований фМРТ полагаются на зависящий от уровня кислорода в крови BOLD-эффект (blood-oxygen-level-dependent): чувствительность к уровню кислорода в крови используется для оценки локальной нейронной активности. Поскольку эти измерения не имеют абсолютной шкалы, исследователи должны использовать контрастные экспериментальные схемы, в которых нас должно интересовать не единичное измерение, а разница между двумя или более измерениями [14].

Рассмотрим ситуацию, когда комиссия задает кандидату вопрос и просит дать на него искренний, правдивый ответ, а затем снова задает тот же вопрос, но просит дать правдоподобный ответ, скрыв истину. В обоих случаях кандидат должен понять вопрос и сформулировать ответ. Но во втором случае кандидат должен сделать еще кое-что: не позволить себе сказать правду, придумать какой-то ложный ответ и оценить его правдоподобность. «Вычитание» правдивого ответа из правдоподобного «выводит за скобки» активность, общую для обеих ситуаций, оставляя только зону мозга, которая отвечает за придумывание лжи.

В процессе нейроисследования кандидата ему можно предложить ответить на ряд вопросов, предполагающих простые ответы «да – нет», «верно – неверно», и фиксировать повышенный кровоток в определенных – работающих – отделах мозга. Такие отделы, активные при правдивых или ложных ответах, определяются в экспериментальных условиях [15, 16].

При сравнении с традиционным детектором лжи (полиграфом), измеряющим определенные физиологические показатели, свидетельствующие о сильной эмоциональной реакции испытуемого, когда он говорит неправду (частота пульса, кровяное давление, потоотделение и др.), нейродетектор лжи представляется более надежным и потому более многообещающим для потребностей практики. В литературе отмечается, что с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии фиксируются когнитивные процессы, а не вторичные эмоциональные реакции, что делает этот тип детектора лжи практически не подверженным влиянию возможных попыток его обмануть, от чего не свободно исследование на полиграфе. Кроме того, этот метод устанавливает нейробиологические корреляты лжи и обмана, а не их внешние проявления, что делает его результаты существенно более точными.

Первичные данные, полученные при отборе, впоследствии могут быть использованы в регулярных медицинских обследованиях. Более важно, чем установление мотивации, создание исходной базы данных для отобранного кандидата в космонавты для последующего выявления изменений в ходе космических полетов, а также для проведения бортовых экспериментов.

### **Возможности нейроинформационных технологий для оценивания работанности экипажа**

Степень работанности экипажа можно оценить, изучая механизм нейрокогеренции [17] космонавтов в ходе тренировок, особенно по выходу из нештатных ситуаций. Когеренция основана на физическом эффекте, обнаруженном А.Н. Колмогоровым в 1942 году: в турбулентности образуются устойчивые когерентные структуры. В 1962 году А.Н. Колмогоров установил подобный характер спектров интенсивности колебаний гидродинамических потоков и экономических индикаторов [18, с. 14]. (Колмогоров занимался турбулентией в разных областях. В данном случае целью исследования было сравнение гидродинамической и финансовой турбулентности.) Это означало, что законы вариаций экономических параметров и скорости турбулентных флуктуаций потоков воды не зависят от физических свойств ни частиц воды, ни частиц экономической среды. Фактически он показал существование явления экономической когеренции. Распространив эту гидродинамическую аналогию на людей, рассматривая их как частицы социальной среды, приходим к гипотезе социальной когеренции. Современные нейроисследования проясняют явление когеренции совместной работы мозга людей (в западной науке его называют нейросинхронизацией) [19] и экспериментально подтверждают его [20]. В истории науки можно найти убедительные примеры нейрокогеренции.

Нейронные волны разных людей подстраивались друг под друга, когда они сотрудничали при выполнении определенных задач, но не во время одновременного выполнения тех же задач ими поодиночке. Сила эффекта

зависит от того насколько хорошо участники экспериментов знали друг друга и от уровня доверия между ними. Этот эффект можно использовать при оценке действий экипажа в сложных ситуациях (как при подготовке к полетам, так и на борту ПКК). Мозг группы людей может работать совместно как составная нейронная сеть, что достигается нейрокогеренцией при взаимодействии членов экипажа. Степень связанности такой сети (межличностной нейроконнеktivности) варьируется в зависимости от хорошего рабочего и эмоционального контакта. Межличностная нейроконнеktivность содержит информацию о возникающей координации при командной работе. Пока неясно, как такая информация кодируется в структуре составной (межличностной) нейронной сети. Однако сам факт нейрокогеренции вполне может быть использован в практике подготовки космических экипажей.

Эксперименты по изучению нейрокогеренции проводились, в частности, с помощью электроэнцефалографии. На участниках экспериментов закреплялись скальповые электроды, размещаемые в соответствии с принятой международной системой. Каждый член группы получал собственные каналы электродов скальпа от отдельных устройств ЭЭГ, и все они контролировались через онлайн-сервер, чтобы обеспечить параллельную запись нейронных процессов. Аналогичные результаты получены не только методом сканирования на основе ЭЭГ, но также и методами MEG – магнитоэнцефалографии, fMRI, fNIRI – спектроскопии в околоинфракрасном диапазоне [20].

### **Возможности нейроинформационных технологий при реализации научных программ на ПКК**

Помимо описанного в предыдущем разделе эксперимента по оценке нейрокогеренции (сработанности) экипажа, целесообразно провести и ряд других экспериментов, но для этого необходимо оценить возможности доставки научного оборудования на борт. Проще всего обстоит дело с ЭЭГ: в практике уже используются отечественные 24-канальный электроэнцефалограф (энцефалограф) «Компакт-нейро», 24-канальный беспроводной электроэнцефалограф «НейроЭЭГ» и другие (рис. 2).



Рис. 2. Скальповая ЭЭГ

С 2020 года в США стали использоваться портативные аппараты для магнитно-резонансной томографии, управляемые с планшетного компьютера (рис. 3) [21]. Их массогабаритные характеристики ниже, чем аппаратура для эксперимента «Плазменный кристалл», которая неоднократно обновлялась и вновь завозилась на борт МКС в течение 20 лет (рис. 4). Формат устройства пока позволяет сканировать только голову, но для обсуждаемых бортовых экспериментов это и требуется.

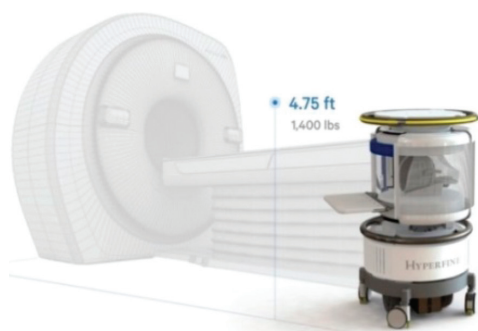


Рис. 3. Портативный МРТ компании Hyberfine в сравнении с обычным (высота – 1,5 м, диаметр вполнину меньше, что обеспечивает перенос аппаратуры через стандартные люки)



Рис. 4. Экспериментальная установка ПК-3 («Плазменный кристалл»). Фото Ю.М. Батурина, 2001 г.

Кроме массогабаритных характеристик аппаратов МРТ проблемой использования их на борту ПКК или напланетных базах может быть необходимость создания громоздкой магнитной и радиочастотной защиты. Однако пути решения этой проблемы уже имеются. Так специалисты Гонконгского университета создали компактный МРТ, который лишен этих недостатков, причем стоимость его оценивается всего в 20 000 долларов в отличие от стандартных аппаратов, цена которых доходит до миллионов долларов.

Существенным шагом к созданию компактных и мобильных МРТ-аппаратов стала разработка компании Nuami. Ожидаемые массогабаритные характеристики предлагаемого МРТ, степень защиты от излучений, качество сканирования, потребляемая мощность достаточно близки к характеристикам, предъявляемым к бортовой НА.

Имеются и высокотехнологические отечественные разработки МРТ, которые могут быть прототипами НА для ПКК. В частности, ФИАН им. П.Н. Лебедева совместно с Центрами неврологии и нейрохирургии РАН создает собственную МРТ-технологии, превосходящую по многим показателям зарубежные аналоги.

Обнадеживающие результаты по созданию компактных МРТ получены в Сибирском государственном медицинском университете (СибГМУ,

г. Томск). Речь идет о создании минитомографа на базе современных цифровых и биофизических технологий с использованием обучающих нейросетей.

Существуют и портативные системы ближней инфракрасной спектроскопии (fNIRS) для мониторинга мозга, такие как LUMO12, 1728-канальная система ближней инфракрасной спектроскопии, система Cortivision spotlight, сочетающая хорошие возможности нейровизуализации с экспериментальной гибкостью и высокой точностью [22] (рис. 5). Мозг нейропластичен, то есть адаптируется и изменяется как по структуре, так и по своему функционалу, причем в течение всей жизни человека. Но космические полеты большой продолжительности провоцируют другие и более быстрые изменения мозга. Космический полет изменяет как функциональные связи, так и микроструктурную организацию мозга, особенно в длительных экспедициях. Причиной этого является не только невесомость (микрогравитация), но и другие стрессовые факторы – радиация, длительное воздействие замкнутого пространства, нарушение циркадного ритма и гиперкапния (повышенное содержание в артериальной крови и тканях человека углекислого газа) [9, 23]. Необходимы новые бортовые эксперименты для мониторинга различных изменений в мозге космонавта и выделения причин каждого из них. Отмеченные изменения сказываются и на работе космонавта как оператора. Все это возможно изучить в бортовых экспериментах, чтобы получить ответ на вопрос: «Будет ли готов космонавт к высадке на Марс и работе там?» [24]. Уже давно выработаны контрмеры против потери мышечной массы и костей, такие как физические упражнения не менее двух часов в день. Сегодня необходимо искать контрмеры, компенсирующие изменения мозга космонавтов.

Ученые использовали магнитно-резонансную томографию для изучения периваскулярного пространства (пространства вокруг кровеносных сосудов мозга), заполненного ликвороподобной жидкостью, в мозгу астронавтов до их запуска и сразу после их возвращения. МРТ-измерения повторяли через один, три и шесть месяцев. Полученные данные сравнивали с данными 16 контрольных испытуемых, не покидавших Землю.



Рис. 5. Портативная fNIRS

Периваскулярные пространства являются неотъемлемой частью естественной системы очистки мозга, которая происходит во время сна. Сеть, известная как лимфатическая система, очищает метаболические белки от клеточного мусора, который в противном случае накапливался бы в мозгу. Многие космонавты отмечали, что в космическом полете требуется меньше, чем на Земле, время, чтобы выспаться. Между тем неврологи Орегонского университета установили, что полеты в космос вредят структурам очистки мозга, вызывая те же изменения, что и старение. Как сочетаются эти утверждения? Интересная задача для бортового эксперимента – в реальном масштабе времени изучить процесс очистки мозга и вообще понять особенности сна космонавтов в космическом полете.

На первый взгляд серьезным аргументом против предлагаемых экспериментов оказывается их высокая стоимость. Но это возражение по сути носит более общий характер, оно направлено против экстремальной медицины вообще. «Отбор и особенно подготовка спортсменов высоких достижений, как отбор и подготовка космонавтов, – довольно своеобразная и сложная проблема, ибо и то и другое очень дорого обходятся обществу, требуют огромных вложений, участия и большого труда многих специалистов», – признают специалисты ГНЦ РФ – ИМБП РАН Ю.И. Воронков и А.Я. Тизул. «...Это сознательное или полусознательное искажение подлинных ценностей... И освоение космоса, и спорт выступают в качестве объективной оценки совместной деятельности многих людей (конструкторов, ученых и специалистов различных областей знаний», – возражают они. Эта совместная деятельность создает новые ценности, которые многократно выше произведенных затрат. Так что это ценностный спор. Считаем что, готовить описанные эксперименты, проводить наземные эксперименты на более доступной стационарной аппаратуре все равно следует начинать. Необходимо наработать корректные методики, научиться отфильтровывать шумы, собрать данные о погрешностях измерений и т. д. На это уйдут годы, следовательно, приступать надо незамедлительно.

### **Медицинские, правовые и этические аспекты применения нейроинформационных технологий**

Надо признать, что на сегодняшний день мы не имеем достаточной информации о чувствительности, точности и эффективности нейроинформационных технологий, равно как и данных о том, насколько их применение устойчиво к контрмерам. Оценив позитивные стороны нейроинформационных технологий, мы пока слабо представляем их корректное правовое регулирование. Более того, действующее законодательство не в состоянии защитить космонавта от копания в его мозге, если он этого не хочет. Пока это остается прерогативой медицинской этики. Личные мысли, личные воспоминания и скрытые творческие замыслы пока помогают нам чувствовать автономию личности и неприкосновенность разума.

Что же касается законодательного регулирования отношений по использованию нейроинформационных технологий, то напрашивается прямая аналогия с полиграфом (т. н. детектором лжи). Однако единого законодательного акта о применении полиграфа до сих пор нет, хотя об этом писали многие авторы [25]. Нормы о полиграфе разбросаны по ряду законов и подзаконных актов и, в основном, сводятся к требованию получения согласия испытуемого. Между тем полиграф широко используется в России не только в процессе расследования уголовных дел и раскрытия преступлений, но и при приеме на работу, прежде всего, в правоохранительные органы и органы безопасности, а также при психофизиологических исследованиях работающего персонала, в том числе в финансовых и коммерческих организациях, для обеспечения безопасности их деятельности. Представляется, что на первом этапе было бы достаточно закона «О прикладных психофизиологических исследованиях человека», который охватил бы применение и полиграфа, и нейроинформационных технологий. Однако впоследствии, несомненно, для защиты когнитивных функций личности потребуется отдельный закон «О нейроинформационных технологиях» по отдаленной аналогии с Федеральным законом от 3 декабря 2008 г. № 242-ФЗ «О государственной геномной регистрации в Российской Федерации». При его создании могут помочь отдельные конструкции Федерального закона от 5 июля 1996 г. № 86-ФЗ «О государственном регулировании в области генно-инженерной деятельности».

Даже если закон о нейроинформационных технологиях будет в ближайшем будущем принят, то его практически нейтрализует простая поправка, полностью аналогичная ч. 2 ст. 1 Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных»: «Обработка (снимается: биометрических персональных) данных (добавляется: полученных с помощью нейроинформационных технологий) может осуществляться без согласия субъекта (снимается: персональных данных) в связи с реализацией международных договоров Российской Федерации о реадмиссии, в связи с осуществлением правосудия и исполнением судебных актов, в связи с проведением обязательной государственной («дактилоскопической» заменяется на «эксгелоскопической») регистрации, а также в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации об обороне, о безопасности, о противодействии терроризму, о транспортной безопасности, о противодействии коррупции, об оперативно-разыскной деятельности, о государственной службе, уголовно-исполнительным законодательством Российской Федерации, законодательством Российской Федерации о порядке выезда из Российской Федерации и въезда в Российскую Федерацию, о гражданстве Российской Федерации, законодательством Российской Федерации о нотариате». Может быть, и стоит пока оставить эту проблему юридической науке без передачи каких-либо связанных с ней проектов в законодательные органы, полагаясь более на этику, особенно в рассматриваемой узкой сфере – космонавтике [11].

## Выводы

1. Развитие нейроинформационных технологий, основанных на разработанных в медицине методах и средствах электроэнцефалографии, функциональной магнитно-резонансной томографии и других компьютеризированных способах нейровизуализации, достигли уровня, позволяющего планировать и готовить эксперименты на борту космических станций.

2. Проверки и обоснования требуют методики применения нейроинформационных технологий для отбора кандидатов в космонавты и оценивания слаженности работы сформированных экипажей ПКК.

3. К основным направлениям использования нейроинформационных технологий в пилотируемой космонавтике на данном этапе исследований можно отнести:

– текущие обследования действующих профессиональных космонавтов;

– постановку новых научных экспериментов на ПКК, в том числе в рамках новой Российской орбитальной станции, лунных и марсианских программ.

4. Целесообразно рассмотреть возможность постановки новых бортовых экспериментов (целевых работ) на околоземной орбитальной станции по исследованию методических и аппаратурных особенностей применения нейроинформационных технологий в интересах обеспечения безопасности пилотируемых миссий и получения новых научных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Концептуальные подходы к построению системы отбора космонавтов в свете предстоящих задач перспективных пилотируемых программ / Б.И. Крючков, М.М. Харламов, В.М. Усов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 4(37). – С. 5–27. DOI: 10.34131/MSF.20.4.5-27
- [2] Яковлева, Е.Г. Диагностические возможности метода ГРВ-биоэлектрографии / Е.Г. Яковлева. – Текст: электронный // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – № 1. – URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4163.pdf> (дата обращения 23.01.2023).
- [3] Батурич, Ю.М. От интернета до виртуальной Земли и метавселенной (краткая история информационных технологий на критическом рубеже) / Ю.М. Батурич; Российская академия наук, Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова. – Москва: ИИЕТ; Саратов: Амирит, 2022. – С. 166–175.
- [4] Review of Recent Studies and Issues Regarding the P300-Based Complex Trial Protocol for Detection of Concealed Information / J.P. Rosenfeld, X. Hu, E. Labkovsky [et al.] // International Journal of Psychophysiology. – 2013. – Vol. 90, Iss. 2. – P. 118–134. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2013.08.012
- [5] Функциональная магнитно-резонансная томография и нейронауки / М.Б. Штарк, А.М. Коростышевская, М.В. Резакова, А.А. Савелов // Успехи физиологических наук. – 2012. – Т. 43. – № 1. – С. 3–29. – URL: <https://naukarus.com/funksionalnaya-magnitno-rezonansnaya-tomografiya-i-neyronauki> (дата обращения 23.01.2023).



- [6] Huettel, S.A. *Functional Magnetic Resonance Imaging* / S.A. Huettel, A.W. Song, G. McCarthy // Massachusetts, Sinauer Associates Inc. Publishers Sunderland, 2009.
- [7] Beecher-Monas, E. *Overselling Images: fMRI and the Search for Truth.* / E. Beecher-Monas, E. Garcia-Rill // *The John Marshall Law Review.* – 2015. – Vol. 48. – P. 651–692.
- [8] Аблязов, О.В. Магнитно-резонансная трактография в клинической практике / О.В. Аблязов // *Вестник экстренной медицины.* – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 67–70.
- [9] *Brains of Cosmonauts Get ‘Rewired’ to Adapt to Long-Term Space Missions* // *Featured Neuroscience. Open Neuroscience Articles-February 18, 2022.* – URL: <https://neurosciencenews.com/cosmonaut-brain-20090/> (дата обращения 25.08.2022).
- [10] Farahany, N.A. *Incriminating Thoughts* / N.A. Farahany // *Stanford Law Review.* – 2012, February. – Vol. 64, 351. – P. 394.
- [11] Батурин, Ю.М. Нейроцензура против когнитивной свободы / Ю.М. Батурин // *Труды по интеллектуальной собственности.* – Москва: Автономная некоммерческая организация Творческий центр ЮНЕСКО. – 2020. – Т. 36. – № 3–4. – С. 5–23. DOI: <https://doi.org/10.17323/tis.2020.13376>
- [12] Farwell, L.A. *Brain Fingerprinting: a Comprehensive Tutorial Review of Detection of Concealed Information With Event-Related Brain Potentials* / L.A. Farwell // *Cognitive Neurodynamics.* – 2012. – Vol. 6, Iss.2 – P. 115–154. DOI: 10.1007/s11571-012-9192-2
- [13] Pardo, M.S. *Minds, Brains, and Law [Текст]: The Conceptual Foundations of Law and Neuroscience* / M.S. Pardo & D. Patterson. – Oxford [etc.]: Oxford university press, 2013. – 240 p.
- [14] Law, J.R.H. *Cherry-Picking Memories: Why Neuroimaging-Based Lie Detection Requires a New Framework for the Admissibility of Scientific Evidence under Fre 702 and Daubert* / J.R.H. Law // *Yale Journal of Law & Technology.* – 2011. – Vol. 14. – № 1. – URL: [https://yjolt.org/sites/default/files/daubertfinaleedit\\_0.pdf](https://yjolt.org/sites/default/files/daubertfinaleedit_0.pdf) (дата обращения 21.08.2022).
- [15] *Detecting Deception Using Functional Magnetic Resonance Imaging* / F.A. Kozel, K.A. Johnson, Q. Mu [et al.] // *Biological Psychiatry.* – 2005. – Vol. 58, Iss. 8. – P. 605–613.
- [16] *Lying in the Scanner: Covert Countermeasures Disrupt Deception Detection by Functional Magnetic Resonance Imaging* / G. Gani, J.P. Rosenfeld, J. Meixner [et al.] // *NeuroImage.* – 2011. – Vol. 55, Iss. 1. – P. 312–319. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.025
- [17] Батурин, Ю.М. Нейрокогеренция как возможный механизм коллективного решения сложных научных проблем. В сб.: *Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция.* – Москва: ИИЕТ РАН, 2022. – С. 23–267.
- [18] Shiryayev, A.N. *Kolmogorov and the Turbulence: Workshop “Turbulence and Finance”, May, 57, 1999* / A.N. Shiryayev; Aarhus University; MaPhySto. The Danish National Research Foundation, 1999. – P. 14.
- [19] Boettger, H. *Synchronize Your Brains to Improve Performance.* 2018. – URL: <https://www.gameplan-a.com/2018/09/synchronize-your-brains-to-improve-performance/> (дата обращения 07.07.2022).
- [20] Feehly, C. *Brains Might Sync As People Interact – and That Could Upend Consciousness Research* / C. Feehly // *Discover Magazine.* Jul 27, 2021. – URL: <https://www.discovermagazine.com/mind/brains-might-sync-as-people-interact-and-that-could-upend-consciousness/> (дата обращения 07.07.2022).

- [21] Зайцев, В.В. США одобрили портативный МРТ. – URL: <https://nplus1.ru/news/2020/02/15/portablemri> (дата обращения 25.08.2022).
- [22] fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy). – URL: <https://usabilityin.ru/fnirs/> (дата обращения 25.08.2022).
- [23] На МКС изучат воздействие космоса на мозговую активность. – URL: <https://3dnews.ru/1062923/publikatsiya-1062923> (дата обращения 28.08.2022).
- [24] Мозг на Марсе: как космические перелеты влияют на когнитивные функции. – URL: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/474860/> (дата обращения 28.08.2022).
- [25] Дамаскин, О.В. Правовые аспекты использования полиграфа / О.В. Дамаскин, С.В. Полубинская // *Союз криминалистов и криминологов*. – 2019. – № 1. – С. 7–13.

## REFERENCES

- [1] Conceptual Approaches to the Cosmonaut Selection System in Terms of Forthcoming Tasks of Future Manned Space Programs / B.I. Kryuchkov, M.M. Kharlamov, V.M. Usov [et al.] // *Scientific Journal “Manned Spaceflight”*. – 2020. – No 4(37). – P. 5–27. DOI: 10.34131/MSF.20.4.5-27
- [2] Yakovleva, E.G. The Diagnostic Possibilities of the GDV-bioelectrography Method in Medicine / E.G. Yakovleva. – Electronic Publication // *Journal of New Medical Technologies*. – 2013. – No 1. – URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4163.pdf>.
- [3] From the Internet to the Virtual Earth and the Metaverse: (a Brief History of Information Technologies at the Critical Turn) / Yu. M. Baturin; Russian Academy of Sciences, S.I. Vavilov Institute of the History of Natural Science and Technology. Moscow: ИЕТ RAS; Saratov: Amirit, 2022. – P. 166–175.
- [4] Review of Recent Studies and Issues Regarding the P300-Based Complex Trial Protocol for Detection of Concealed Information / J.P. Rosenfeld, X. Hu, E. Labkovsky [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. – 2013. – Vol. 90, Iss. 2. – P. 118–134.
- [5] Functional Magnetic Resonance Imaging and Neuroscience / M.B. Shtark, A.M. Korostyshevskaya, M.V. Rezakova, A.A. Savelov // *Achievements in Physiological Sciences*. – 2012. – V. 43. – No 1. – P. 3–29.
- [6] Huettel, S.A. Functional Magnetic Resonance Imaging / S.A. Huettel, A.W. Song, G. McCarthy // Massachusetts, Sinauer Associates Inc. Publishers Sunderland, 2009.
- [7] Beecher-Monas, E. Overselling Images: fMRI and the Search for Truth / E. Beecher-Monas, E. Garcia-Rill // *The John Marshall Law Review*. – 2015. – Vol. 48. – P. 651–692.
- [8] Ablyazov, O.V. Magnetic Resonance Tractography in Clinical Practice / O.V. Ablyazov // *The Bulletin of Emergency Medicine*. – 2019. – V. 12. – No 1. – P. 67–70.
- [9] Brains of Cosmonauts Get ‘Rewired’ to Adapt to Long-Term Space Missions // *Featured Neuroscience*. Open Neuroscience Articles-February 18, 2022. – URL: <https://neurosciencenews.com/cosmonaut-brain-20090/> (дата обращения 25.08.2022).
- [10] Farahany, N.A. Incriminating Thoughts / N.A. Farahany // *Stanford Law Review*. – 2012, February. – Vol. 64, 351. – P. 394.
- [11] Baturin, Yu.M. Neurosensorship against cognitive freedoms / Yu.M. Baturin // *Works on Intellectual Property*. – Moscow: Scientific Journal of Unesco Chair on

- Copyright, Related, Cultural and Information Rights. – 2020. – Vol. 36. – No 3–4. – P. 5–23. DOI: <https://doi.org/10.17323/tis.2020.13376>
- [12] Farwell, L.A. Brain Fingerprinting: a Comprehensive Tutorial Review of Detection of Concealed Information With Event-Related Brain Potentials / L.A. Farwell // *Cognitive Neurodynamics*. – 2012. – Vol. 6, Iss. 2 – P. 115–154. DOI: 10.1007/s11571-012-9192-2
- [13] Pardo, M.S. Minds, Brains, and Law [Текст]: The Conceptual Foundations of Law and Neuroscience / M.S. Pardo & D. Patterson. – Oxford [etc.]: Oxford university press, 2013. – 240 p.
- [14] Law, J.R.H. Cherry-Picking Memories: Why Neuroimaging-Based Lie Detection Requires a New Framework for the Admissibility of Scientific Evidence under Fre 702 and Daubert / J.R.H. Law // *Yale Journal of Law & Technology*. – 2011. – Vol. 14. – No 1. – URL: [https://yjolt.org/sites/default/files/daubertfinaledit\\_0.pdf](https://yjolt.org/sites/default/files/daubertfinaledit_0.pdf) (дата обращения 21.08.2022).
- [15] Detecting Deception Using Functional Magnetic Resonance Imaging / F.A. Kozel, K.A. Johnson, Q. Mu [et al.] // *Biological Psychiatry*. – 2005. – Vol. 58, Iss. 8. – P. 605–613.
- [16] Lying in the Scanner: Covert Countermeasures Disrupt Deception Detection by Functional Magnetic Resonance Imaging / G. Gani, J.P. Rosenfeld, J. Meixner [et al.] // *NeuroImage*. – 2011. – Vol. 55, Iss. 1. – P. 312–319. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2010.11.025
- [17] Baturin, Yu.M. Neurocoherence as a Possible Mechanism for Collective Solution of Complex Scientific Problem. Proceedings: S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences. Annual Scientific Conference. – Moscow: IHST RAS, 2022. – P. 23–267.
- [18] Shiryayev, A.N. Kolmogorov and the Turbulence: Workshop “Turbulence and Finance”, May, 57, 1999 / A.N. Shiryayev; Aarhus University; MaPhySto. – The Danish National Research Foundation, 1999. – P. 14.
- [19] Boettger, H. Synchronize Your Brains to Improve Performance. 2018. – URL: <https://www.gameplan-a.com/2018/09/synchronize-your-brains-to-improve-performance/> (дата обращения 07.07.2022).
- [20] Feehly, C. Brains Might Sync As People Interact – and That Could Upend Consciousness Research / C. Feehly // *Discover Magazine*. Jul 27, 2021. – URL: <https://www.discovermagazine.com/mind/brains-might-sync-as-people-interact-and-that-could-upend-consciousness> (дата обращения 07.07.2022).
- [21] Zaitsev, V. Portable MRI is cleared in the USA. – URL: <https://nplus1.ru/news/2020/02/15/portablemri> (accessed on 25.08.2022).
- [22] fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy). – URL: <https://usabilityin.ru/fnirs/> (дата обращения 25.08.2022).
- [23] Effects of space on brain activity will be studied aboard the ISS. – URL: <https://3dnews.ru/1062923/publikatsiya-1062923> (accessed on 28.08.2022).
- [24] Brain on Mars: how space travel affects cognitive functions. – URL: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/474860/> (accessed on 28.08.2022).
- [25] Damaskin, O.V. Legal Aspects of the Use of a Polygraph / O.V. Damaskin, S.V. Polubinskaya // *Union of Criminologists and Criminologists*. – 2019. – No 1. – P. 713.