

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 331.101.1
doi: 10.30987/2658-4026-2023-1-62-68

Особенности влияния микрогравитации на физиологическое и психологическое состояние человека

Алина Викторовна Куклина¹, Мария Сергеевна Кухта²
^{1,2}. Томский политехнический университет; Томская область, Томск, Россия
¹ 20108912@mail.ru;
² kuhta@tpu.ru; ORCID 0000-0001-8643-785X

Аннотация.

В статье рассмотрены основные физиологические и психологические изменения в организме человека в условиях невесомости, определяющие специфику организации эргономичного пространства на космической станции. Из-за отсутствия гравитации происходят нарушения функционирования органов чувств человека, перераспределение жидкости в организме, мышечно-скелетная деформация, неврологические и когнитивные нарушения. В условиях невесомости, человеческое тело в расслабленном состоянии имеет определенное нейтральное положение, отличное от позы тела при земных гравитационных условиях. Данный установленный факт способствует более правильному проектированию и конструированию оборудования и инструментов для работы в космическом пространстве. В процессе длительных космических миссий также возникают различные психологические трудности среди экипажа, которые, несомненно, влияют на здоровье космонавтов, а также результативность космической миссии. Следовательно, изучение специфики эргономики в невесомости необходимо для обеспечения безопасности космонавтов и повышения эффективности работы в суровых, отдаленных и физиологически сложных условиях.

Ключевые слова: эргономика, космос, космонавт, космическая станция, невесомость, микрогравитация

Для цитирования: Куклина А.В., Кухта М.С. Особенности влияния микрогравитации на физиологическое и психологическое состояние человека // Эргодизайн. 2023. №1 (19). С. 62-68. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2023-1-62-68>.

Original article
Open access article

Features of the Microgravity Impact on the Person's Physiological and Psychological State

Alina V. Kuklina¹, Maria S. Kukhta²
^{1,2}. Tomsk Polytechnic University; the Tomsk region, Tomsk, Russia
¹ 20108912@mail.ru;
² kuhta@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8643-785X>

Abstract.

The article discusses the main physiological and psychological changes in the human body in conditions of weightlessness, which determine the specifics of organising ergonomic area at the space station. Neurological and cognitive impairments occur due to the lack of gravity, disturbances in human sense functioning, fluid redistribution in the body, musculoskeletal deformity. In conditions of weightlessness, the human body in a relaxed state has a certain neutral position, different from the body posture under terrestrial gravitational conditions. This established fact contributes to a more correct design and construction of equipment and tools for work in outer space. During long-term space missions, various psychological difficulties also arise among the crew, which undoubtedly affect the astronauts' health, as well as the space mission effectiveness. Therefore, studying the ergonomics specifics in weightlessness is necessary to ensure the astronauts' safety and to increase the work efficiency in harsh, remote and physiologically difficult conditions.

Key words: ergonomics, space, astronaut, space station, weightlessness, microgravity

Введение

В последние десятилетия освоение космоса человеком постепенно углубляется, в связи с чем появляется необходимость изучения и выявления особенностей эргономики в условиях невесомости. Несомненно, для максимально эффективного и безопасного завершения космических экспериментов в кратчайшие сроки при ограниченных ресурсах, важно создать комфортные условия для нахождения человека в космическом пространстве. Изученные в условиях гравитационного поля Земли антропометрические параметры, физические и психические особенности организма, а также способы взаимодействия с предметами и объектами труда во многом отличаются от космической реальности, в которой присутствуют такие факторы как излучение, невесомость, ограниченные объемы пространства, вибрации и др. Целью данной работы является выявление особенностей влияния микрогравитации на физиологическое и психологическое состояние человека, а также определение основных требований к эргономике в условиях космической станции.

Влияние невесомости на физиологическое состояние человека. Нейтральное положение тела в условиях микрогравитации.

Человеческое тело претерпевает глубокие изменения в ответ на микрогравитацию. Наиболее заметным последствием являются нарушения вестибулярной системы. В целом от 60% до 80% космонавтов испытывают синдром космической адаптации в течение первых трех дней (тошноту, бледность и рвоту). Способы смягчения последствий преимущественно состоят в том, чтобы избегать резких маневров головой и откладывать критически важные действия в первые дни пребывания в космосе [1].

Выявлено, что во время космического полета происходит снижение остроты зрения. Послеполетный опрос 300 космонавтов показал, что наблюдалось ухудшение остроты зрения на 28% во время коротких миссий и 60% при длительных миссиях [1]. Также известно, что нейронная адаптация довольно сильно различается и может зависеть от нескольких факторов, таких как демография, генетика и физическая активность [2].

Условия микрогравитации могут привести к снижению способности к передвижению, реакции и зрению, которые тесно связаны с

операциями миссии. Например, время отклика на звук, зрение и выбор в условиях микрогравитации увеличится на 100 мс, 120 мс и 1000 мс соответственно, что приводит к пространственной дезориентации и увеличению времени на выполнение задачи. Вестибулярная система в условиях микрогравитации может вызвать нарушения движения глаз, а также снижение способности контролировать осанку и координировать движения. Наличие состояния невесомости приведет к неправильной оценке положения собственного тела и иллюзиям движения, так как тело человека теряет свою привычную систему координат, зависимость от гравитационного поля Земли. Следовательно, это приведет к неправильному определению расстояния до объекта [3].

В условиях микрогравитации зрительно-моторная координация частично нарушается без обычного чувства равновесия и ориентации по отношению к силе тяжести [4]. Однако наличие натренированных сенсомоторных навыков актуально для проведения ручной стыковки космического корабля, где малейшая неточность может иметь фатальные последствия. Установлено, что целенаправленные движения рук выполняются медленнее и менее точно в условиях микрогравитации. Невесомость сильнее влияет на медленные движения (прицеливания), чем на быстрые. При проведении тестирования тактильных настроек специального джойстика (жесткость пружины, демпфирование и виртуальная масса) выяснилось, что низкая жесткость, а также демпфирование полезны для поддержания сенсомоторных характеристик в условиях имитации невесомости и микрогравитации. Умеренная жесткость и демпфирование могут быть полезны, особенно для выполнения точных движений (рис. 1) [5].

В результате отсутствия воздействия гравитационного поля Земли происходит перераспределение жидкости в организме из нижней части тела в верхнюю. Это проявляется в виде отека лица и уменьшением объема ног [1]. Также длительная невесомость влияет на размер человеческого тела. В условиях невесомости, когда сила тяжести тела, направленная вниз, теряется, позвоночник будет удлинен, размер верхней части тела также увеличится, а общая высота изменится примерно на 3% [3].

В условиях микрогравитации скелетные мышцы страдают от таких проблем, как атрофия и потеря костной массы, что приводит к снижению мышечной силы. Особенно это заметно в нижней части тела, поскольку ноги становятся фактически излишними [1]. Изменяется весь центр масс человеческого тела, а также способность к физическим упражнениям и выполнением тяжелой работы на станции. Когда люди

долгое время находятся в условиях микрогравитации, их кости будут расти из-за недостатка веса. Потеря веса приведет к снижению плотности костей в нижней части тела, а плотность костей черепа увеличится. Это явление связано с тенденцией к тому, что жидкость в организме концентрируется в области головы. Из-за изменения метаболизма костной ткани будет потеряно большое количество кальция [3].



Рис. 1. Джойстик с принудительной обратной связью и экспериментальная установка на борту МКС

Fig. 1. Joystick with forced feedback and experimental installation on board the ISS

Когда тело человека в космосе расслаблено и не подвергается никаким внешним силам, то принимает определенное нейтрально положение. Эта нейтральная поза тела однозначно отличается от позы в условиях гравитации. Ранние проекты оборудования для космических полетов были основаны на формах тела и позах в среде земного гравитационного поля (вертикальное и сидячее положения). Однако обустройство

космических кораблей по эргономическим требованиям, используемых в обычных земных условиях, вызывало усталость и дискомфорт у космонавтов. В новых конструкциях систем (компьютерные консоли, скафандры) используется оценочная модель нейтрального положения тела человека в микрогравитации для оптимальной производительности и комфорта (рис. 2) [6].



Рис. 2. Нейтральные позы тела в космической деятельности

Fig. 2. Neutral body postures in space activities

В нейтральном положении тела у человека наблюдается подошвенное сгибание лодыжки, сгибание тазобедренных и коленных суставов, небольшое отведение бедер, малое сгибание туловища вперед, движение головы и конечностей к середине направления движения, плечи, руки и локти поднимаются вверх, а шея наклоняется вперед (рис. 3) [3]. Известно, что по данным эргометрическим показателям проектируются водительские сиденья в коммерческой автомобильной промышленности [6].

В невесомости человеческое тело полностью расслаблено. При воздействии земной гравитации наилучшая зона видимости в вертикальной плоскости расположена на 15° - 45° ниже горизонтальной линии взгляда, а эффективная зона обзора расположена на 0° - 75° ниже горизонтальной линии взгляда (рис. 4). В условиях микрогравитации при нейтральном положении тела зона видимости смещается вниз на 15° из-за изменения расположения основной линии взгляда (рис. 5) [3]. В невесомости данные показатели являются

особенно актуальными для процесса взаимодействия человека и компьютера, где неправильное расположение экранов и органов управления повлечет за собой увеличение времени на выполнение задачи, а Космический полет также приводит к значительному нарушению циркадного ритма сна в связи с тем, что в космосе принятые для Земли понятия «день» и «ночь» не имеют смысла. На борту Международной космической станции космонавты видят закаты и восходы Солнца каждый 45 минут. На количество и качество сна негативно влияют как космические полеты, так и прием лекарств. Широко распространено

стимулирование сна, особенно в связи с тем, что космонавты должны выполнять часть миссий, где происходит смещение циркадного ритма, вызванное запуском корабля, временем выхода на орбиту и стыковки. Нарушение когнитивных способностей может вызывать беспокойство и в худшем случае представлять собой риск на уровне решения одной задачи или всей миссии с потенциально опасными для жизни последствиями. В настоящее время для выравнивания циркадного ритма используется временное воздействие света и темноты и адаптация рабочих графиков [7]. также снижение эффективности работы.

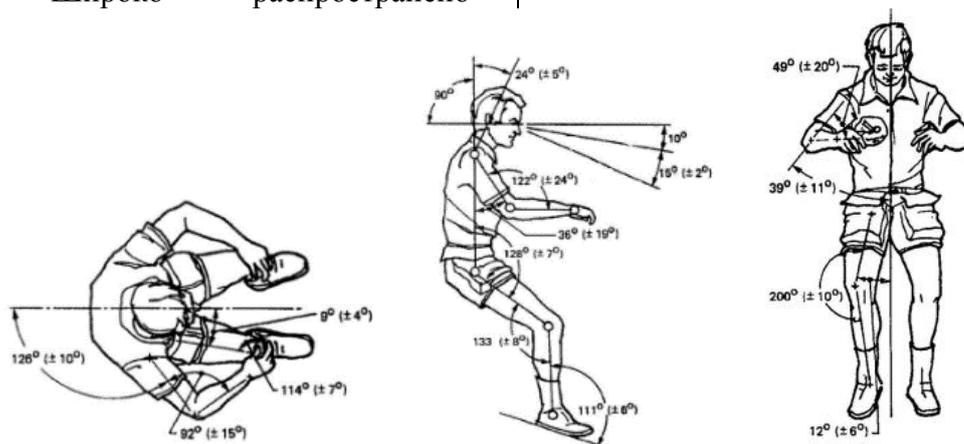


Рис. 3. Нейтральная поза в условиях микрогравитации
Fig. 3. Neutral pose in microgravity

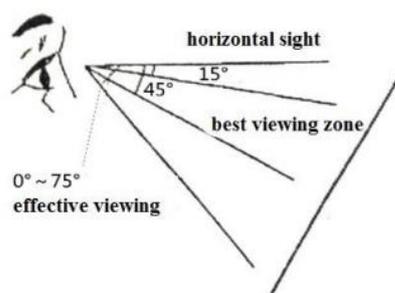


Рис. 4. Оптимальные углы зрительного восприятия в условиях гравитации
Fig. 4. Optimal angles of visual perception in gravity

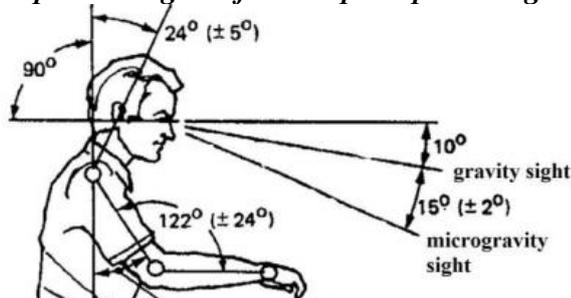


Рис. 5. Изменение расположения зоны видимости в условиях микрогравитации
Fig. 5. Changing the location of the visibility zone in microgravity

Психологические проблемы, возникающие в процессе космического полета

В результате перехода от коротких космических миссий к длительным возникает потребность в оказании психологической

поддержки космонавтов и создании методов преодоления трудностей экипажа станции. Для поддержания психического здоровья космонавтов во время миссий важно контролировать продолжительность рабочей нагрузки на протяжении космического полета.

Различные стрессоры, такие как микрогравитация, вибрация, радиация, ограничения и изоляция в условиях пилотируемых космических полетов, могут вызывать различные негативные психофизиологические эффекты. Например, на эмоциональном уровне они могут спровоцировать беспокойство и депрессию, что влияет на оперативную эффективность космонавтов и общее выполнение миссии [8].

Основные психологические проблемы, окружающие человека на космической станции, включают:

1) ограниченное общение в режиме реального времени с семьей и друзьями, которое может создать серьезные проблемы для длительных космических полетов;

2) внутренние конфликты, вызывающие стресс внутри экипажа станции;

3) скученность людей в ограниченном пространстве и отсутствие уединения;

4) сенсорные ограничения, включающие нарушение вестибулярной системы;

5) наличие социальной изоляции и чувства тоски по дому. В различных психологических исследованиях космонавты вспоминают, что их мысли о доме были более интенсивными, чем интерес к наблюдению за Землей из космоса. На [рисунке 6](#) представлен график, демонстрирующий основные темы, регулярно фиксируемые членами экипажа в специальном журнале записей. Перечисление начинается от самых частых до более редких тем: мысли о доме, проблемы с адаптацией, смена участников экипажа, мысли о красоте/какое-либо удивление и проявление усталости. Особенно такие чувства изоляции могут стать более острыми при длительном путешествии в глубокий космос [4].

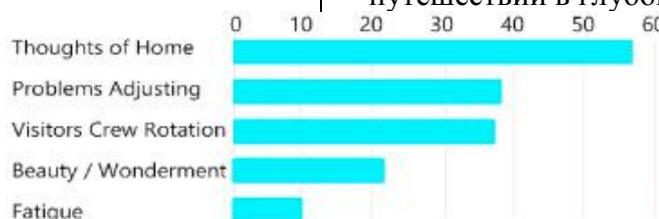


Рис. 6. Распределение журнальных записей космонавтов по категориям на борту МКС

Fig. 6. Distribution of astronauts' journal entries by category on board the ISS

Наблюдаемые поведенческие проблемы включают гнев, тревогу, межличностные конфликты, социальную изоляцию, лишение сна, снижение групповой сплоченности и снижение мотивации. Для повышения морального духа космонавты также получают посылки, которые содержат любимые продукты и другие личные вещи, отправленные семьей и друзьями. Для общения с людьми используется электронная почта и телефонные звонки, для личного использования также доступен Интернет. Свободное время можно использовать для просмотра фильмов, выглядывания в окно, фотографирования и других видов досуга на усмотрение космонавта (музыка, игры, чтение и т.п.). Наблюдение за Землей из окон МКС было названо очень полезным, психологически обогащающим и даже трансцендентным занятием, когда члены экипажа склонны добровольно делать сотни снимков Земли. В дополнение к этим действиям дни в космосе обычно заполнены работой, начиная от научных экспериментов и заканчивая обслуживанием станции. Примечательно, что на МКС не было зарегистрировано серьезных поведенческих расстройств [9].

Стоит отметить, что повышенный уровень автономии на космической станции может

привести к большому количеству незапланированного времени для членов экипажа, из-за чего может увеличиться вероятность психологических проблем. Например, в конце двухнедельной миссии «Джемини-7», во время которой оставалась единственная цель — быть в космосе, Фрэнк Борман и Джеймс Ловелл читали романы, чтобы заполнить время. Об этом периоде Борман сказал просто: «последние три дня были плохими» [9].

Также основные стрессоры связаны с различными устройствами на космической станции. Влияние цветовых факторов на космонавтов с точки зрения эмоциональной пригодности к жизни в основном связано с физиологией и психологией. Каналами передачи информации о цветовом зрении человека являются источники света, цветные объекты, глаза и мозг. Важно отметить, что разумность подбора цветовой гаммы в компоновке внутреннего пространства космического аппарата связана в первую очередь с эргономикой и безопасностью человека [8]. Стоит отметить, что визуальная нагрузка у космонавтов значительно возросла за последнее время. В условиях микрогравитации чувствительность человеческого глаза к цвету значительно снижается, и ему трудно различать похожие

оттенки. Это может быть связано с повышением внутриглазного давления, вызванным увеличением притока жидкости к голове, что приводит к увеличению осевого расстояния глазного яблока, увеличению диоптрий и снижению цветовой контрастной чувствительности [10].

Требования к эргономике в условиях микрогравитации

Для обеспечения безопасности космонавтов и повышения эффективности их работы необходимо учитывать эргономические особенности в условиях микрогравитации при проектировании космического корабля. Эргономика ориентируется на физические и психологические факторы человека, а также исследование взаимосвязей между людьми, машинами и рабочей средой для определения наилучшей комбинации [3].

Рабочее место в космосе по необходимости ограничено, а предъявляемая эргономика бросает вызов человеческому организму как физически, так и морально [7]. Большинство травм были вызваны действиями экипажа в кабине космического корабля, такими как переход между модулями, аэробные и силовые упражнения, а также травмы, вызванные внекорабельной активностью (ссадины и небольшие порезы на руке). Об этом часто сообщают космонавты на ранней стадии космического полета, когда они адаптируются к микрогравитации [11].

В соответствии с физиологическими и психологическими изменениями человека в условиях микрогравитации возникают следующие эргономические требования по проектированию космического оборудования:

- 1) свести к минимуму тяжелую и напряженную работу, требующую длительного выполнения;
- 2) свести к минимуму возникновение многозадачности в процессе работы;
- 3) увеличить знаки позиционирования и ориентации на космическом корабле, чтобы

помочь космонавтам осуществлять пространственную ориентацию;

4) для регулировки положения тела и облегчения работы космонавта необходимо установить достаточное количество поручней и ограничителей для ног;

5) логично расположить компоненты и лабораторное оборудование в процессе проектирования, чтобы оно соответствовало условиям доступности для космонавтов и удобному рабочему пространству в условиях микрогравитации;

6) разработать разумный план действий в чрезвычайных ситуациях, чтобы уменьшить вероятность возникновения ошибки [3].

Заключение

Физиологические и психологические изменения состояния космонавтов, в условиях невесомости влияют на завершение и успешность космических полетов. Для комфортного и безопасного нахождения людей в космическом пространстве необходимо учитывать изменения, происходящие в человеческом теле в невесомости. Отсутствие гравитационного поля Земли приводит к различным деформациям и нарушениям в организме человека, что, безусловно, представляет опасность для его здоровья. Например, изменения в когнитивных способностях, наличие стрессовых ситуаций безусловно повлияют на решения космонавтов и увеличат время реакции, тем самым усложняя задачи и продолжительность их выполнения. Из этого следует, что учет особенностей эргономики в невесомости в процессе проектирования космического оборудования имеет большое значение для обеспечения безопасности экипажа и его адаптации к условиям микрогравитации, а также сокращения времени и увеличения скорости выполнения задач, снижения затрат на техническое обслуживание.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Hodkinson P.D., Anderton R.A., Posselt B.N., Fong K.J.** An overview of space medicine. *British Journal of Anaesthesia*. 2017;119:143-153. DOI 10.1093/bja/aex336.
2. **Van Ombergen A., Demertzi A., Tomilovskaya E. [et al.]** The effect of spaceflight and microgravity on the human brain. *Journal of Neurology*. 2017;264:18-22. DOI 10.1007/s00415-017-8427-x.
3. **Pengyan L., Dang Zh., Long X., Yuan L.** Human Ergonomics Study in Microgravity Environment. *MATEC Web Conf*. 2018;221:4-10. DOI 10.1051/mateconf/201822104010.

REFERENCES

1. **Hodkinson P.D., Anderton R.A., Posselt B.N., Fong K.J.** An Overview of Space Medicine. *British Journal of Anaesthesia*. 2017;119:143-153. DOI 10.1093/bja/aex336.
2. **Van Ombergen A, Demertzi A, Tomilovskaya E, et al.** The Effect of Spaceflight and Microgravity on the Human Brain. *Journal of Neurology*. 2017;264:18-22. DOI 10.1007/s00415-017-8427-x.
3. **Pengyan L., Dang Zh., Long X., Yuan L.** Human Ergonomics Study in Microgravity Environment. *MATEC Web Conf*. [Internet]. 2018;221:4-10. DOI 10.1051/mateconf/201822104010.

4. **Basu T., Bannova O., Camba J.D.** Mixed reality architecture in space habitats. *Acta Astronautica*. 2021;178:548–555. DOI 10.1016/j.actaastro.2020.09.036.
5. **Weber B.M., Schatzle S., Steltser M.** Aiming performance during spaceflight: Individual adaptation to microgravity and the benefits of haptic support. *Applied Ergonomics*. 2022;103. DOI 10.1016/j.apergo.2022.103791.
6. **Han Kim K., Young K.S., Rajulu S.L.** Neutral Body Posture in Spaceflight. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2019;63:992–996. DOI 10.1177/1071181319631129.
7. **Braddock M.** Ergonomic Challenges for Astronauts during Space Travel and the Need for Space Medicine. *Journal of Ergonomics*. 2017;7. DOI 10.4172/2165-7556.1000221.
8. **Jiang A., Yao X., Schlacht I.L., Musso G., Tang T., Westland S.** Habitability experiment for the space station's colour design. *Proceedings of the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. 2020:507–514. DOI 10.1007/978-3-030-50943-9_64.
9. **Salamon N., Grimm J.M., Horack J.M., Newton E.K.** Application of virtual reality for crew mental health in extended-duration space missions. *Acta Astronautica*. 2018;146:117–122. DOI 10.1016/j.actaastro.2018.02.034.
10. **Jiang A., Fong B.H., Schlacht I.L., Yao X., Cheung V., Rhodes P.A.** Colour schemes to reduce stress response in the hygiene area of a space station: A Delphi study. *Applied Ergonomics*. 2022;98. DOI 10.1016/j.apergo.2021.103573.
11. **Braddock M., Szocik K., Campa R.** Ergonomic Constraints for Astronauts: Challenges and Opportunities Today and for the Future. *Contemporary Ergonomics and Human Factors*. 2019. P. 293–301. ISBN: 978-1-9996527-1-5.

4. **Basu T., Bannova O., Camba J.D.** Mixed Reality Architecture in Space Habitats. *Acta Astronautica*. 2021;178:548-555. DOI 10.1016/j.actaastro.2020.09.036.
5. **Weber B.M., Schatzle S., Steltser M.** Aiming Performance during Spaceflight: Individual Adaptation to Microgravity and the Benefits of Haptic Support. *Applied Ergonomics*. 2022;103. DOI 10.1016/j.apergo.2022.103791.
6. **Han Kim K., Young K.S., Rajulu S.L.** Neutral Body Posture in Spaceflight. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2019;63:992-996. DOI 10.1177/1071181319631129.
7. **Braddock M.** Ergonomic Challenges for Astronauts during Space Travel and the Need for Space Medicine. *Journal of Ergonomics*. 2017;7. DOI 10.4172/2165-7556.1000221.
8. **Jiang A., Yao X., Schlacht I.L., Musso G., Tang T., Westland S.** Habitability Experiment for the Space Station'S Colour Design. *Proceedings of the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*; 2020. p. 507-514. DOI 10.1007/978-3-030-50943-9_64.
9. **Salamon N., Grimm J.M., Horack J.M., Newton E.K.** Application of Virtual Reality for Crew Mental Health in Extended-Duration Space Missions. *Acta Astronautica*. 2018;146:117-122. DOI 10.1016/j.actaastro.2018.02.034.
10. **Jiang A., Fong B.H., Schlacht I.L., Yao X., Cheung V., Rhodes P.A.** Colour Schemes to Reduce Stress Response in the Hygiene Area of a Space Station: A Delphi Study. *Applied Ergonomics*. 2022;98. DOI 10.1016/j.apergo.2021.103573.
11. **Braddock M., Szocik K., Campa R.** Ergonomic Constraints for Astronauts: Challenges and Opportunities Today and for the Future. In: Charles R, Golightly D, editors. *Contemporary Ergonomics and Human Factors*; 2019. p. 293-301.

Информация об авторах:

Куклина Алина Викторовна – аспирант 2 года обучения по специальности 50.06.01 «Искусствоведение», профиль 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн», тел +7 (913) 514 34-45, международные идентификационные номера автора: SPIN-код: 2902-8650, Author-ID-РИНЦ 1070695
Кухта Мария Сергеевна - профессор, доктор философских наук, профессор Отделения автоматизации и робототехники ИШИТР ТПУ, международные идентификационные номера автора: SCOPUS AuthorID: 56378125000, Web of Science ResearcherID: AAE-6735-2019, Elibrary AuthorID: 129643, SPIN-код: 6730-0249

Information about the authors:

Kuklina Alina Viktorovna – 2nd year post-graduate student in specialty 50.06.01 “Art History”, profile 17.00.06 “Technical Aesthetics and Design”, ph. +7 (913) 514 34-45; the author’s international identification numbers: SPIN-code: 2902-8650, Author-ID-RSCI: 1070695.
Kukhta Maria Sergeevna – Professor, Doctor of Philosophical Sciences, Professor of the Department “Automation and Robotics” of the School of Information Technology and Robotics Engineering of Tomsk Polytechnic University; the author’s international identification numbers: SCOPUS Author-ID: 56378125000, Web of Science ResearcherID: AAE-6735-2019, E-library Author-ID: 129643, SPIN-code: 6730-0249

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.12.2022; одобрена после рецензирования 30.01.2023; принята к публикации 02.02.2023. Рецензент – Евстифеева Е.А., доктор философских наук, профессор, профессор Тверского государственного технического университета, член редсовета журнала «Эргодизайн».

The paper was submitted for publication on the 28th of December, 2022; approved after the peer review on the 30th of January, 2023; accepted for publication on the 2nd of February, 2023. Reviewer – Evstifeeva E.A., Doctor of Philosophical Sciences, Professor, Professor of Tver State Technical University, member of the editorial board of the journal “Ergodesign”.