

УДК 004.94

Применение технологии смешанной реальности для эргономической отработки пилотируемого космического аппарата

Казаку Илья Александрович

kazakuia@student.bmstu.ru

SPIN-код: 8525-0725

Шаповалов Анатолий Витальевич

shapovalovav@bmstu.ru

SPIN-код: 5215-6619

Макаренков Данил Алексеевич

makarenkovda@student.bmstu.ru

SPIN-код: 5440-2154

Кочетов Иван Андреевич

kochetovia@student.bmstu.ru

Щеглов Георгий Александрович

shcheglov_ga@bmstu.ru

SPIN-код: 3501-7903

Казакова Анастасия Александровна

kazakova@bmstu.ru

SPIN-код: 9334-8822

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен литературный обзор на тему применения систем расширенной реальности (XR) в аэрокосмической отрасли. Проведено исследование о целесообразности применения таких систем в эргономической отработке. Приведены возможные формы выходных данных при применении систем смешанной реальности. Описано возможное применение этих систем для эргономической отработки.

Ключевые слова: смешанная реальность, эргономика, пилотируемые космические аппараты

Application of mixed reality technologies for ergonomic testing

Kazaku Ilya Alexandrovich

kazakuia@student.bmstu.ru

SPIN-code: 8525-0725

Shapovalov Anatoly Vitalievich

shapovalovav@bmstu.ru

SPIN-code: 5215-6619

Makarenkov Danil Alekseevich

makarenkovda@student.bmstu.ru

SPIN-code: 5440-2154

Kochetov Ivan Andreevich

kochetovia@student.bmstu.ru

Shcheglov Georgii Alexandrovich

shcheglov_ga@bmstu.ru

SPIN-code: 3501-7903

Kazakova Anastasia Alexandrovna

kazakova@bmstu.ru

SPIN-code: 9334-8822

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. A literature review on the application of extended reality (XR) systems in the aerospace industry has been conducted. A study on the feasibility of using such systems in ergonomic assessment was carried out. Possible formats of output data when using mixed

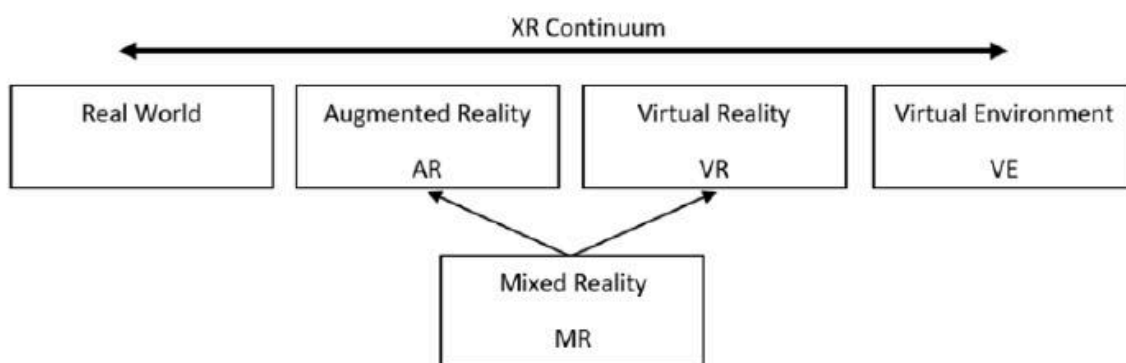
reality systems are presented. The potential application of these systems for ergonomic assessment is described.

Keywords: mixed reality, ergonomics, manned spacecraft

Введение. Системы расширенной реальности (XR) активно применяются для тренировки и обучения персонала, помощи в проектировании изделий и технического обслуживания готовой техники. В космической отрасли накоплен значительный опыт применения систем XR: от тренировки экипажей и поддержки операций на МКС [1] до помощи в сборке новых космических кораблей, таких как Orion [2]. Проведенный литературный обзор, выявил пробел в области применения систем XR в аэрокосмической отрасли: область эргономической отработки остается практически незатронутой, несмотря на ее ключевую роль для проектирования пилотируемых космических аппаратов.

В немногочисленных публикациях, рассматривающих применение XR для эргономических целей, оно происходит либо изолированно в иммерсивной среде без участия физического макета [3] либо рассматриваются отдельные компоненты (система захвата движения, тактильные интерфейсы), а не система в целом [4, 5]. Использование систем расширенной реальности с их широкими возможностями для взаимодействия человека, виртуальной среды и реального изделия позволило бы существенно снизить финансовые и временные затраты на эргономические испытания, а также собирать информацию методами, которые не были доступны ранее.

Материалы и методы. Для создания иммерсивных сред чаще всего используются игровые программные среды (движки), такие как Unreal Engine и Unity. Технологии расширенной реальности могут быть представлены различными подходами, но чаще всего выделяют три подвида: виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR) и смешанная реальность (MR) (см. рисунок).



Континуум технологий XR

Особый интерес представляет именно смешанная реальность, так как она совмещает в себе достоинства VR и AR и позволяет взаимодействовать одновременно с реальным и виртуальным пространством. Это дает возможность

использовать 3D модели вместо реальных физических макетов либо совместно с ними. Для компенсации отсутствия физического отклика при замене реальных моделей на виртуальные можно использовать тактильные перчатки, костюмы с обратной связью, трекингowe костюмы MotionCapture и т. д. Для проведения исследований была сформулирована модельная задача о прототипировании иммерсивной среды для проверки целесообразности применения систем смешанной реальности для эргономических целей на примере задачи замены вышедшего из строя компонента бортового оборудования.

Результаты. Исследование модельной задачи было проведено с использованием средств игрового движка Unreal Engine. Целью исследования было определить возможные применения смешанной реальности для эргономической отработки пилотируемого космического аппарата. Исследование показало, что системы MR могут использоваться для записи следующей информации об операторе и процессе выполнения модельной задачи в целом: скорость реакции, время выполнения задачи, положение тела оператора и направление его взгляда в разные моменты времени, зоны работы оператора, моменты времени начала и окончания взаимодействия с объектами, запись аудио и видео и др. Также возможно использовать виртуальные 3D-модели различной бортовой аппаратуры, наравне с физическими макетами. Благодаря использованию датчиков глубины виртуальные и реальные объекты могут перекрывать друг друга, что позволяет проводить различные операции в закрытых объемах. Тактильные перчатки посредством вибрации помогают оператору взаимодействовать с виртуальными моделями, сообщая о пересечениях с моделями и предоставляя обратную связь при взаимодействии с ними.

Обсуждение. Использование систем смешанной реальности позволяет записывать большое количество информации, некоторые виды которой ранее получены впервые и не могли быть получены при проведении традиционной эргономической отработки. Эти новые виды информации при их обработке современными методами обработки данных (в том числе с использованием нейросетей) могут поспособствовать повышению точности и объективности эргономических оценок.

Использование 3D-моделей вместо реальных макетов позволяет перейти от стадии проектирования напрямую к эргономическим испытаниям, минуя стадии изготовления и монтажа макетов изделий. С учетом итеративной природы эргономической отработки суммарная экономия времени и средств может оказаться весьма значительной.

Системы на основе MR позволят повысить качество проводимых эргономических испытаний, благодаря возможности предварительно оценить возможные компоновки оборудования и удобство оператора при работе с ними перед испытаниями с физическими макетами. Это должно поспособствовать ускорению и удешевлению эргономических испытаний. При этом нет принципиальных ограничений на применение этих технологий только в аэрокосмической отрасли. Опыт может быть расширен практически на любую область, поддающуюся эргономическому анализу.

Закключение. Технологии смешанной реальности открывают новые возможности при проведении эргономических испытаний. Помимо расширения возможности сбора информации об операторе и испытаниях и улучшении качества эргономических оценок, технологии МР позволяют сократить использование дорогостоящих и ресурсоемких натурных макетов, в особенности на ранних стадиях разработки, увеличить скорость проектирования и подготовки к испытаниям.

Список источников

- [1] Helin K., Karjalainen J., Kuula T. Human-Centric Approach for Developing XR Applications in the Space Domain. Accessibility, Assistive Technology and Digital Environments. Proceedings of the AHFE (2025) International Conference, USA, AHFE International, 2025, vol. 162. <https://doi.org/10.54941/ahfe1006017>
- [2] Winick E. NASA is using HoloLens AR headsets to build its new spacecraft faster. MIT Technology Review. URL: <https://www.technologyreview.com/2018/10/09/103962/nasa-is-using-hololens-ar-headsets-to-build-its-new-spacecraft-faster/> (accessed 14.03.2026).
- [3] Neretin E.S., Kolokolnikov P.A., Mitrofanov S.Y. Prospect for the application of augmented and virtual reality technologies in the design, production, operation of aircraft and training of aviation personnel. Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1958, no. 1, art. no. 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1958/1/012030>
- [4] Dufresne F., Nilsson T., Gorisse G. et al. Touching the Moon: Leveraging Passive Haptics, Embodiment and Presence for Operational Assessments in Virtual Reality. Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24), Honolulu, USA, New York, Association for Computing Machinery, 2024, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642292>
- [5] Pöttker S., Lödding H. Digital assembly design with a motion capture system. Procedia CIRP, 2024, vol. 130, pp. 374–380. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.103>