

УДК 629.788

О ПОДГОТОВКЕ ЛЕТЧИКОВ И КОСМОНАВТОВ НАВЫКАМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТИРОВКИ И ВОСПРИЯТИЮ ИЛЛЮЗИЙ В ПОЛЕТАХ

А.Г. Бюшгенс, А.В. Канаев, А.В. Чунтул, Б.И. Крючков,
Ю.В. Хохлов, И.А. Таратонов

Докт. техн. наук А.Г. Бюшгенс; А.В. Канаев; докт. мед. наук А.В. Чунтул
(АО «ИННОТЕХ»)

Докт. техн. наук Б.И. Крючков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Канд. техн. наук Ю.В. Хохлов; И.А. Таратонов (АО «ИННОТЕХ»)

В статье раскрываются особенности создания исследовательских пилотажных стендов на базе промышленных роботов-манипуляторов, предназначенных для отработки технологий и методов подготовки летного состава современных авиационных комплексов, на основе которых создаются авиационные тренажеры. Обсуждаются вопросы использования предлагаемых стендов для обучения пилотов пространственной ориентировке и восприятию различных иллюзий, возникающих в полетах. Оцениваются перспективы применения разрабатываемых технологий для подготовки космонавтов.

Ключевые слова: исследовательский пилотажный стенд, подготовка на тренажерах, авиационный тренажер, нарушение пространственной ориентировки, иллюзии пространственного положения, летчики и космонавты

On the Training of Pilots and Cosmonauts for Spatial Orientation and Perception of Illusions in Flight. A.G. Byushgens, A.V. Kanaev, A.V. Chuntul, B.I. Kryuchkov, Yu.V. Khokhlov, I.A. Taratonov

The paper reveals the features of creating research flight stands based on industrial robots designed to mature technologies and methods of training flight personnel of current air complexes used as the foundation for air simulators. The issues of using proposed air complexes to train pilots for spatial orientation and perception of various illusions, appeared in flight are discussed. The possibilities of applying the technologies under development for cosmonaut training are discussed.

Keywords: research aerobatic stand, training on simulators, air simulator, disturbance of spatial orientation, illusions of spatial position, pilots and astronauts

В качестве приоритетных направлений развития отечественной пилотируемой космонавтики рассматриваются полеты как на новых низких околоземных орбитах (НОО), так и полеты за пределы НОО, в том числе на Луну и в дальний космос [1, 11].

При реализации упомянутых программ предусматривается использование как модифицированных транспортных пилотируемых кораблей типа «Союз» (на начальном этапе), так и пилотируемых кораблей нового поколения – «Федерация», «Орел». Рассматриваются предложения и по разработке

транспортных средств типа «космоплан», создаваемых в качестве авиационно-космических систем (АКС), управляемых экипажем.

Как и на предшествующих этапах пилотируемой космонавтики, при полетах на новых пилотируемых космических аппаратах (ПКА) должна гарантированно обеспечиваться необходимая безопасность экипажей. Требования обеспечения безопасности экипажей учитываются как при создании ПКА и управлении их полетами, так и при подготовке экипажей.

Роль космонавтов на пилотируемых космических комплексах (ПКК) в обеспечении безопасности полета является ключевой. На них в ходе полета возлагается большое число задач и функций, от которых напрямую зависит безопасность пилотируемой миссии в целом. В этой связи в первую очередь следует назвать динамические операции по управлению ПКА или транспортными грузовыми кораблями (ТГК), основу которых составляют операции по управлению движением центра масс и движением вокруг центра масс. В частности, к ним относятся: ручные стыковки и расстыковки пилотируемых и грузовых национальных и зарубежных ПКА, перестыковки с одного стыковочного узла на другой, облеты ПКК, операции ручного управляемого спуска ПКА на Землю и др. Как правило, все они требуют от космонавтов сверхточных действий, как например, при выполнении строгой последовательности активных маневров при сближении или причаливании ПКА. При этом космонавты должны осуществить целый ряд действий, связанных с вниманием, восприятием и сохранностью различной информации, пониманием чувства времени, места, ориентации.

В реальных полетах сложность и опасность динамических операций, выполняемых космонавтами, возрастают в связи с проведением различных динамических маневров в окрестностях других компонентов ПКК – модулей орбитальных станций, свободнолетающих космических аппаратов (КА).

В лунных программах, в проектах с использованием АКС к особо сложным этапам обеспечения безопасности полета будут относиться участки пилотирования, связанные с посадкой КА на поверхность Луны или Земли, соответственно.

Кроме того, при решении задач пилотирования с посадкой управляемого экипажем аппарата на поверхность Земли или Луны происходят изменения гравитационных условий (например, переход от невесомости к лунной или земной гравитации), что еще больше усугубляет процессы управления ПКА и требует от экипажей практических умений и навыков по выполнению поставленных задач пилотирования. Важное место при их отработке отводится приобретению навыков пространственной ориентировки, в том числе в условиях возникновения иллюзий на различных этапах функционирования ПКК.

Проблемы возникновения иллюзий у летного состава в полетах на самолетах и вертолетах достаточно детально исследовались в ряде работ [2, 3, 9, 10]. Более того, их авторами создан каталог, включающий 172 иллюзии, который

имеет практическое применение как при формировании эргономических требований к летательным аппаратам (ЛА), так и при подготовке пилотов.

По статистике около 20 % летных авиационных происшествий и предпосылок к ним происходят из-за потери пространственной ориентировки, в том числе с проявлениями иллюзий в полетах [2, 12, 13].

Исследованию иллюзий, возникающих у космонавтов при полетах на ПКК, также посвящено немало работ [4–6, 14, 15]. Космические иллюзии наблюдаются космонавтами практически с начала эры пилотируемых полетов в космос. Герман Степанович Титов (1935–2000) первым отмечал их в своем полете на корабле «Восток-2» в 1961 г., который был первым длительным полетом и продолжался 1 сутки 1 час. В известной книге «Угол атаки» Георгий Тимофеевич Береговой (1921–1995) высказывался о необходимости понимания ориентационных иллюзий и высокой значимости подготовки к их восприятию в практической деятельности авиационных пилотов и космонавтов.

В космическом полете в связи с отсутствием гравитации известные иллюзии приобретают новые свойства. По существующим представлениям все они классифицируются по четырем видам: ориентационные, кинетические, проприоцептивные, координатные. По данным ИМБП РАН в начале космического полета (в первые часы) ориентационные иллюзии наблюдаются у большинства космонавтов (до 98 %). Затем они уменьшаются [15]. Иллюзии иных видов возникают и на начальных и на других этапах полета экипажа ПКК.

Многолетняя авиационная и космическая практика свидетельствует, что правильная пространственная ориентировка является основой безопасности полетов, а иллюзии проявляются как сопутствующие факторы ее снижающие. Это относится к перемещениям ЛА как в околоземном, так и в космическом пространствах. Данные эффекты оказывают существенное влияние на профессиональные действия летчиков и космонавтов. Поэтому практическая отработка режимов пилотирования, пространственной ориентировки, ознакомления с иллюзиями и ситуациями потерь пространственной ориентировки являются важными задачами подготовки и летчиков, и космонавтов. В свою очередь, выполнение целенаправленных тренировочных полетов в усложненных условиях с проявлениями иллюзий на реальных авиационных ЛА, а тем более ПКА, не представляется возможным как по причине сложности воспроизведения требуемого набора эффектов, так и по соображениям безопасности. Поэтому формирование необходимых навыков ориентировки в полете и преодоления иллюзий, помимо изучения теории, требует практической наземной подготовки.

В этой связи особую актуальность приобретают новые технологии наземной тренажерной подготовки летчиков и космонавтов, в том числе в части навыков пространственной ориентировки в полетах и преодоления иллюзий.

Для решения этой задачи предлагается использование созданного АО «ИННОТЕХ» специализированного тренажера, не имеющего аналогов

в РФ и обеспечивающего отработку требуемых навыков пилотирования, пространственной ориентировки, понимание летчиками и космонавтами причин и закономерностей возникновения иллюзий полета и способов их преодоления [7, 8].

Перспективные технологии

Основные механизмы проявлений иллюзий полета и эффекты потери пространственной ориентировки определили подходы, применяемые при создании пилотажных стендов аналогичного назначения, используемых для подготовки летчиков.

Анализ зарубежного опыта показывает, что в ряде центров подготовки летного состава для отработки указанных задач нашли применение специализированные тренажеры, такие как «Дездемона» (Нидерланды), «Кентавр» (Австрия) и другие. Данные устройства являются технически сложными и дорогостоящими.

В качестве современного технологического решения разработан и изготовлен АО «ИННОТЕХ» менее затратный отечественный исследовательский пилотажный стенд (ИПС), включенный в состав экспериментальной базы кафедры авиационно-космической медицины Военно-медицинской академии (г. Санкт-Петербург).

ИПС позволяет имитировать набор иллюзий полета, характерных для ЛА различных типов (самолет/вертолет), а также отрабатывать различные методы поддержания у пилота пространственных представлений в сложных условиях полета.

Инновационные идеи ИПС и базовые технологические решения целесообразно рассмотреть на предмет их применимости в создании специализированного тренажерного комплекса подготовки космонавтов. Предлагаемый подход является альтернативой, традиционно применяемой в авиационных тренажерах шестистепенной системы подвижности на базе платформы Стюарта, разработанной в 60-е гг. прошлого века. В ряде источников она называется платформой Гью – Стюарта и рассматривается как параллельный манипулятор с октаидераидальной компоновкой стоек. Для любой точки такой платформы можно произвольно задать три ее декартовы координаты и три координаты единичного вектора нормали к платформе [18].

Космический тренажер на базе шестистепенной платформы использовался в НИИ ЦПК в составе технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) по программе «Буран». На его подвижной платформе устанавливалась кабина многоразового корабля, что позволяло отрабатывать задачи управления им при физическом воспроизведении акселерационных воздействий.

Ключевой идеей ИПС является применение промышленного робота-манипулятора в качестве исполнительного механизма системы имитации акселерационных воздействий с шестью степенями подвижности.

Вопросы теории рассматриваемых манипуляционных роботов, методы управления, математические модели роботов, способы построения алгоритмов управления ими представлены в работе [17].

На рис. 1 показан общий вид двух альтернативных систем подвижности.



Рис. 1. Альтернативные варианты систем подвижности для имитации акселерационных воздействий: система подвижности на базе промышленного робота (слева) и система подвижности на базе платформы Стюарта

Сравнительные характеристики линейных и угловых перемещений классической платформы Стюарта и промышленного робота приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики перемещений систем подвижности

Тип перемещения	Платформа Стюарта	Промышленный робот
	Значение	
Линейные перемещения (м)		
X	0,8	3,2
Y	1,3	4,2
Z	1,2	4,2
Угловые перемещения (град)		
тангаж	±23	±110–17,5
крен	±25	±180
курс	±24	±180

Направление движения и расположение осей используемого робота показаны на рис. 2.

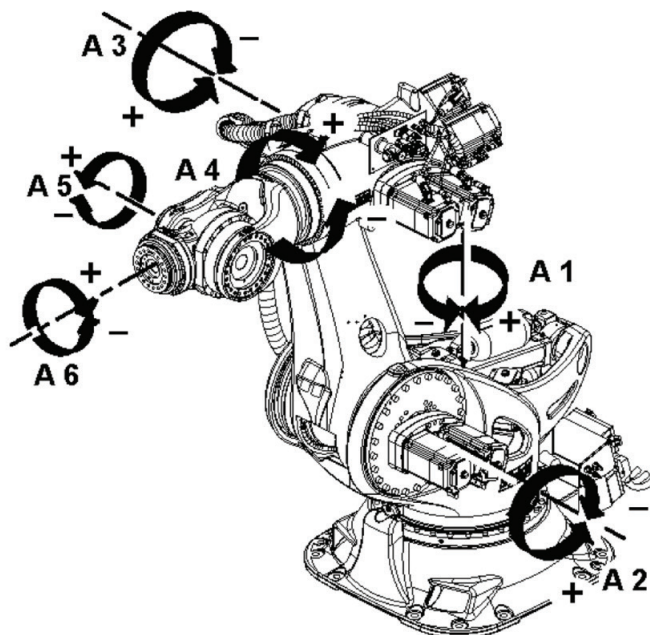


Рис. 2. Направления движения робота относительно осей А 1–А 6

Диапазоны и скорости угловых перемещений по осям приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики промышленного робота по его осям

Ось	Диапазон перемещения, град.	Угловая скорость, %с
А 1	±150	58
А 2	от +17,5 до –130	50
А 3	от +145 до –110	50
А 4	±350	60
А 5	±118	60
А 6	±350	72

Используемый робот манипулятор обладает номинальной грузоподъемностью – 1000 кг и допустимым моментом инерции – 500 кг×м².

Результаты детальных сравнительных исследований классических систем Стюарта и консольных систем подвижности представлены в работе [16]. Как показано в ней, степень достоверности акселерационных ощущений при использовании робота-манипулятора возрастает в 2–3 раза по сравнению с традиционными схемами.

По своим возможностям ИПС позволяет моделировать вестибулярные и зрительные иллюзии полета.

Из вестибулярных иллюзий существует возможность моделирования иллюзии крена, эффект Кориолиса, соматогравической иллюзии (когда пилот верит своим ощущениям, а не показаниям приборов) и др.

Зрительные иллюзии представлены способностью моделирования ложного горизонта, иллюзии ширины и наклона взлетно-посадочной полосы, иллюзии наклонной местности, захода на посадку в черной дыре, неверного восприятия наземных огней, эффекта ослепления и иллюзии звездного неба.

Указанный перечень не является всеобъемлющим, однако достаточен для ознакомления летного состава с наиболее часто встречающимися их видами. Для применения в космонавтике он должен быть уточнен.

Помимо этого, программное обеспечение ИПС позволяет реализовывать редактирование метеоусловия полета в широком диапазоне. Сверх этого также существует возможность вводить отказы пилотажно-навигационного оборудования с целью большего рассогласования процесса пространственной ориентировки пилота.

Конструктивные особенности ИПС

При формировании облика ИПС, в частности кабинной капсулы и проекционно-экранной системы, в качестве исходных данных были приняты потребные для качественного моделирования диапазоны поворота звеньев и нейтральное положение, позволяющее обеспечить симметричный ход по вертикали. Потребные диапазоны определяются на основании требований к линейным и угловым перемещениям кабины при моделировании полета с заложенным запасом $8-10^\circ$ по 5-му звену (А 5) для увеличения диапазона перемещения горизонтально ориентированной кабины вдоль оси Y. Значения относительных углов поворота звеньев промышленного робота приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения потребных углов поворота звеньев системы подвижности

Номер звена	Нейтральное положение, град.	Минимальное положение, град.	Максимальное положение, град.
А 1	0	-45	45
А 2	-76,48	-130	17,5
А 3	123,09	-110	145
А 4	0	-10	10
А 5	-46,6	-86,6	-6,6
А 6	0	-10	10

На рис. 3 показан общий вид некоторых положений его системы подвижности.

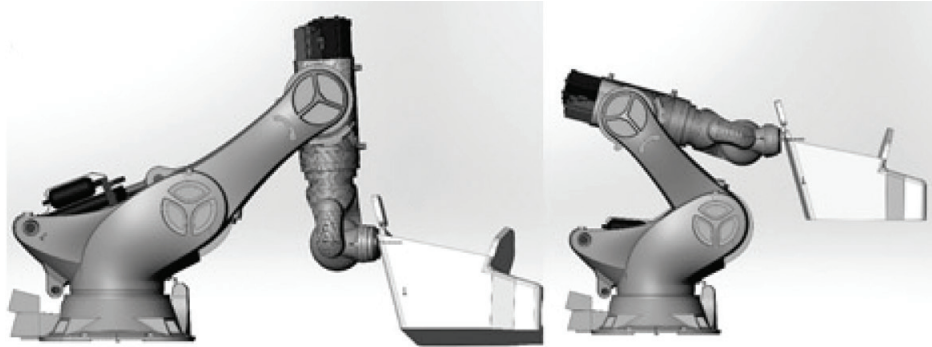


Рис. 3. Общий вид характерных положений системы подвижности относительно кабины

Кабинная капсула тренажера изготавливается из композиционных материалов с использованием металлического каркаса и состоит из двух составных частей – основного и экранного модулей (рис. 4).

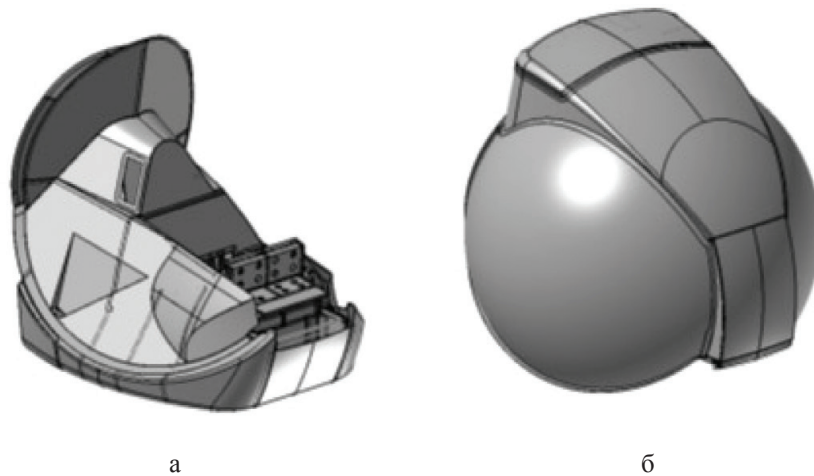


Рис. 4. Вариант исполнения кабинной капсулы:
а – кабинный модуль; *б* – экранный модуль

Кабинный модуль является имитацией кабины ЛА и предназначен для размещения кресел экипажа, кабинного оборудования и силового узла крепления к роботу.

Формирование облика кабины фактически сводится к процессу создания рабочего пространства вокруг экипажа и соответствующего информационно-управляющего поля.

Определение взаимного расположения экипажа и его рабочего пространства основывается на антропологических, физиологических и психологических особенностях человека, а также от эргономических характеристик и целевого назначения объекта управления и области его применения.

Выбор геометрических параметров проекционно-экранного комплекса обуславливается требованиями к системе отображения внешней (внекабинной) обстановки и результатами расчетов геометрических параметров кабины ИПС.

Предлагаемый вариант проекционно-экранной системы обеспечивает формирование непрерывного изображения необходимого качества на сферическом экране, окружающем кабину экипажа (рис. 5) во всем поле, видимом из точки расположения глаз.

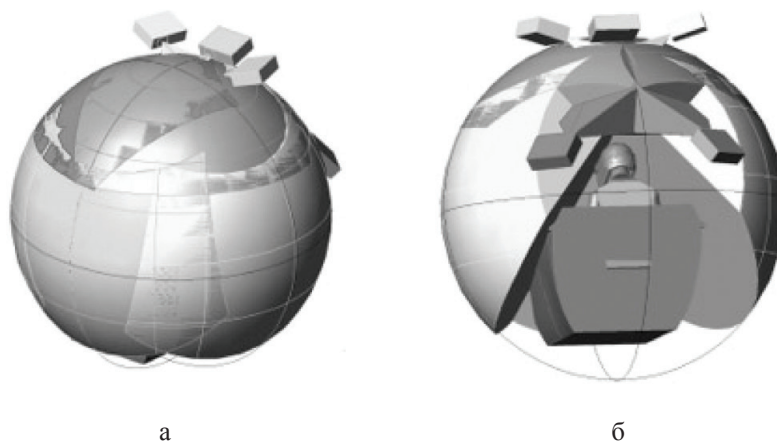


Рис. 5. Компоновка проекционно-экранной системы:
а – передняя полусфера; б – задняя полусфера

В случае использования данной технологии для моделирования внешней визуальной обстановки при отработке задач спуска и посадки пилотируемых объектов типа АКС на экранном модуле должны оперативно воспроизводиться соответствующие ее воздушные, наземные и надводные фрагменты, что возможно за счет использования современных ГИС-технологий.

Система объективного контроля в составе ИПС позволяет регистрировать и обрабатывать в автоматическом режиме показатели качества деятельности и психофизиологического состояния экипажа по параметрам нервно-эмоционального напряжения, направления взгляда, управляющих движений, ошибочных действий, времени формирования и устойчивости полученных навыков в сочетании с условиями полетного задания и др.

Тренажеры, создаваемые на основе предлагаемых технологий, могут быть составной частью тренажерных комплексов, разрабатываемых для перспективных ПКК [11].

Выводы

При разработке перспективных ТСПК целесообразно учесть опыт создания ИПС, предназначенных для подготовки летного состава к решению задач управления современными авиационными комплексами.

Одним из преимуществ предлагаемой технологии является использование серийных промышленных роботов-манипуляторов, имеющих высокую надежность и обладающих техническими характеристиками, превосходящими характеристики известных платформ Стюарта, применяемых как в авиационном, так и в космическом тренажеростроении.

Особый интерес использования промышленных роботов при моделировании акселерационных эффектов может представлять при создании ТСПК для АКС.

Важной особенностью технологии рассматриваемых ИПС является возможность ее применения для формирования навыков пилотирования ПКА в экстремальных условиях полета, отработки умений у космонавтов пространственной ориентировки в полете, ознакомления с признаками развития иллюзорных ощущений и способами их парирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Космос России: выбор будущего и основные тренды доминирования: научн. ред. Б.И. Крючков / А.С. Харланов, М.М. Харламов, Р.В. Белый, А.А. Бобошко [и др.] – Москва, 2022. – 206 с.
- [2] Чунтул, А.В. Человек в вертолете. Психофизиология профессиональной деятельности экипажей современных и перспективных вертолетов. – Москва: Когито-Центр, 2018. – 320 с.
- [3] Коваленко, П.А. Учение об иллюзиях полета / П.А. Коваленко, В.А. Пономаренко, А.В. Чунтул. – Москва: Институт психологии РАН, 2007. – 461 с.
- [4] Корнилова, Л.Н. Ориентационные иллюзии в невесомости / Л.Н. Корнилова, И.К. Тарасов // Авиационная и экологическая медицина. – 1996. – Т. 30, № 3. – С. 17–23.
- [5] Влияние 21-суточной «сухой» иммерсии на сенсомоторную оценку иллюзий Понзо и Мюллера – Лайера при схватывании / В.А. Ляховецкий, И.С. Соснина, К.А. Зеленский, В.Ю. Карпинская [и др.] // Авиационная и экологическая медицина. – 2020. – Т. 54, № 4. – С. 58–63.
- [6] Виртуальное прототипирование «слепой посадки» аппаратов вертолетного типа для изучения принятия космонавтами решения о посадке лунного модуля в ручном режиме / Ю.А. Бубеев, В.М. Усов, Б.И. Крючков, А.А. Обознов [и др.] // Авиационная и экологическая медицина. – 2022. – Т. 56, № 1. – С. 32–46.
- [7] Особенности создания и перспективы развития исследовательского пилотажного стенда для психофизиологической подготовки летного состава / А.А. Благинин, А.Г. Бюшгенс, Ю.В. Хохлов, С.П. Ляшедько. – Санкт-Петербург: ВМедА, 2021. – 9 с.
- [8] Перспективные технологии формирования пространственных представлений на тренажерах у летчиков и космонавтов / А.Г. Бюшгенс, А.В. Чунтул,

- Б.И. Крючков, Ю.В. Хохлов // *Материалы XV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос»*, 2023. – С. 181–182.
- [9] Завалова, Н.Д. *Образ в системе психической регуляции деятельности* / Н.Д. Завалова, Б.Ф. Ломов, В.А. Пономаренко. – Москва: Наука, 1986. – 315 с.
- [10] Лапа, В.В. *Психофизиология безопасности полетов* / В.В. Лапа, В.А. Пономаренко, А.В. Чунтул. – Москва: Ассоциация журналистов, пишущих на правоохранительную тематику, 2013. – 396 с.
- [11] Хрипунов, В.П. *Основные положения концепции поэтапного создания тренажерного комплекса Российской орбитальной станции* / В.П. Хрипунов, Ю.Б. Сосярка, С.В. Игнатъев // *Материалы XV Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос»*, 2023. – С. 177–178.
- [12] *Эргономика в системе проектирования и испытаний вертолетов и тренажеров «Ми»: Т. 3. Технологии интеллектуальной поддержки экипажей вертолетов* / Под ред. Б.Е. Федунова, А.В. Чунтула. – Москва: Когито-Центр, 2015. – 167 с.
- [13] *Эргономика в системе проектирования и испытаний вертолетов и тренажеров «Ми»: Т. 6. Инженерно-эргономические технологии разработки активной системы безопасности полетов на вертолетах при потере экипажем работоспособности* / Под ред. А.В. Чунтула. – Москва: Когито-Центр, 2019. – 97 с.
- [14] *Российские академики: на МКС космонавтов преследуют иллюзии* // «Чистовик»: информационное издание. – URL: <https://chistovik.info/news/hi-tech/7372>. – Дата публикации: 20.09.2017.
- [15] *Как невесомость искажает восприятие у космонавтов*. – URL: <https://m.ok.ru/group/52638386684151/topic/67343422983159?st.dmod=LAYER> (Дата обращения 20.03.2024).
- [16] Бюшгенс, А.Г. *Специализированный тренажер для экипажей маневренных летательных аппаратов с системой подвижности консольного типа*. – Жуковский: ЦАГИ, 2019. – 16 с.
- [17] Поезжаева, Е.В. *Промышленные роботы*. – Ч. 2. – Пермь: ПГТУ, 2009. – 185 с.
- [18] Терехин, Н.А. *Система управления манипулятором с шестью степенями свободы. Платформа Гью – Стюарта. Труды Решетневских чтений* / Н.А. Терехин, Т.В. Камленок. – Красноярск, 2010. – С. 334–335.

REFERENCES

- [1] *Space of Russia: the Choice of the Future and the Main Trends of Dominance: Scientific ed.* B.I. Kryuchkov / A.S. Kharlanov, M.M. Kharlamov, R.V. Bely, A.A. Boboshko [at al.]. – Moscow, 2022. – 206 p.
- [2] Chuntul, A.V. *The Man in the Helicopter. Psychophysiology of Professional Activity of Crews of Modern and Promising Helicopters*. – Moscow: Kogito-Center, 2018. – 320 p.
- [3] Kovalenko, P.A. *The Doctrine of Flight Illusions* / P.A. Kovalenko, V.A. Ponomarenko, A.V. Chuntul. – Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2007. – 461 p.
- [4] Kornilova, L.N. *Orientation Illusions in Zero Gravity* / L.N. Kornilova, I.K. Tarasov // *Aviation and Environmental Medicine*. – 1996. – Vol. 30, No. 3. – P. 17–23
- [5] *The Effect of 21-day “Dry” Immersion on Sensorimotor Assessment of Ponzo and Muller – Lyer Illusions During Grasping* / V.A. Lyakhovetsky, I.S. Sosnina, K.A. Zelensky, V.Yu. Karpinskaya [at al.] // *Aviation and Environmental Medicine*. – 2020. – Vol. 54, No. 4. – P. 58–63.

- [6] Virtual Prototyping of “Blind Landing” of Helicopter-type Devices for Studying Cosmonauts’ Decision-making on Landing the Lunar Module in Manual Mode / Yu.A. Bubeev, V.M. Usov, B.I. Kryuchkov, A.A. Oboznov [at al.] // *Aviation and Environmental Medicine*. – 2022. – Vol. 56, No. 1. – P. 32–46.
- [7] Features of Creation and Prospects of Development of a Research Aerobatic Stand for Psychophysiological Training of Flight Personnel / A.A. Blagin, A.G. Byushgens, Yu.V. Khokhlov, S.P. Lyashedko. – St. Petersburg, VMedA. – 2021. – 9 p.
- [8] Promising Technologies for the Formation of Spatial Representations on Simulators for Pilots and Cosmonauts / A.G. Byushgens, A.V. Chuntul, B.I. Kryuchkov, Yu.V. Khokhlov // *Materials of the XV International Scientific and Practical Conference International Space Flights, FSBO “Scientific Research Test Cosmonaut Training Center Named After Yu.A. Gagarin”*, Star City, 2023. – P. 181–182.
- [9] Zavalova, N.D. Image in the System of Mental Regulation of Activity / N.D. Zavalova, B.F. Lomov, V.A. Ponomarenko. – Moscow: Nauka, 1986. – 315 p.
- [10] Lapa, V.V. Psychophysiology of Flight Safety / V.V. Lapa, V.A. Ponomarenko, A.V. Chuntul. – Moscow: Association of Journalists Writing on Law Enforcement Topics, 2013 – 396 p.
- [11] Khripunov, V.P. The Main Provisions of the Concept of the Phased Creation of the Simulator Complex of the Russian Orbital Station / V.P. Khripunov, Yu.B. Sosyurka, S.V. Ignatiev // *Materials of the XV International Scientific and Practical Conference International Space Flights, FSBO “Scientific Research Test Cosmonaut Training Center Named After Yu.A. Gagarin”*, Star City. – 2023. – P. 177–178.
- [12] Ergonomics in the Design and Testing System of Helicopters and Mi Simulators: Vol. 3. Technologies for Intelligent Support of Helicopter Crews / Ed. by Doctor of Technical Sciences B.E. Fedunov, Doctor of Medical Sciences, A.V. Chuntula. – Moscow: Kogito-Center, 2015. – 167 p.
- [13] Ergonomics in the Design and Testing System of Helicopters and Mi Simulators: Vol. 6. Engineering and Ergonomic Technologies for the Development of an Active Helicopter Flight Safety System in Case of Loss Crew Capacity / Ed. by Doctor of Medical Sciences, Professor, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the Field of Science and Technology A.V. Chuntul. – Moscow: Kogito-Center. – 2019. – 97 p.
- [14] Astronauts on the ISS are Haunted by Illusions // “Chistovic”: Information Edition. – URL: <https://chistovik.info/news/hi-tech/7372> (Date of issue 09/20/2017).
- [15] How Weightlessness Distorts the Perception of Astronauts. – URL: <https://m.ok.ru/group/52638386684151/topic/67343422983159?st.dmod=LAYER> (Accessed 03/20/2024).
- [16] Byushgens, A.G. Specialized Simulator for Crews of Maneuverable Aircraft with a Cantilever Mobility System. – Zhukovsky: TsAGI. 2019. – 16 p.
- [17] Poezhaeva, E.V. Industrial Robots. – Part 2. – Perm.: Publishing House of the Perm State Technical University, 2009. – 185 p.
- [18] Terekhin, N.A. Manipulator Control System with Six Degrees of Freedom. The Hugh-Stewart Platform. The Works of Reshetnev Readings / N.A. Terekhin, T.V. Kamlenok. – Krasnoyarsk, 2010. – P. 334–335.