

ОБЗОРЫ

OVERVIEWS

УДК 629.78.007

DOI 10.34131/MSF.20.1.120-131

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОЛАБОРАТОРИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

М.Л. Киселев, М.А. Зайцев, В.В. Несмеянов, О.В. Кузовов

М.Л. Киселев; М.А. Зайцев; В.В. Несмеянов; О.В. Кузовов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье проведен обзор существующих в разных странах гидролабораторий, рассмотрены их конструктивные особенности, основные тактико-технические характеристики, а также задачи, решаемые в ходе подготовки космонавтов.

Ключевые слова: внекорабельная деятельность, гидролаборатория, космический скафандр.

Overview of Existing Weightless Environment Facilities for Training Cosmonauts. M.L. Kiselev, M.A. Zaitsev, V.V. Nesmeyanov, O.V. Kuzovov

The paper overviews existing hydrolabs in various countries, considers their design features and technical characteristics as well as tasks tackled to in the cosmonaut training process.

Keywords: extravehicular activity, hydrolab, spacesuit.

При развертывании и эксплуатации пилотируемых космических комплексов большое значение приобретает работа экипажа в открытом космосе по выполнению монтажно-сборочных, ремонтных, экспериментальных и других работ. Комплекс вышеуказанных работ принято называть внекорабельной деятельностью (ВКД). [1]

Как показывает многолетний опыт подготовки космонавтов к ВКД, наиболее эффективным способом являются тренировки в гидросреде. Данный вид тренировок проводится в специально сконструированных гидролабораториях (ГЛ), позволяющих обеспечить подготовку космонавтов к ВКД в условиях моделируемой невесомости. Моделируемая невесомость в гидросреде достигается за счет обеспечения нейтральной (нулевой) плавучести скафандров и необходимого экспериментального оборудования, используемого в ходе тренировок [2].

В настоящее время в разных странах мира созданы и эксплуатируются следующие гидролаборатории.

Гидролаборатория

Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина

В 1980 году в Центре подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина (ЦПК) введена в эксплуатацию гидролаборатория для подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов (ПКА) к ВКД, а также проведения научно-исследовательских и испытательных работ.

Испытательно-тренировочный комплекс «Гидролаборатория» (далее – ИТК ГЛ) предназначен для проведения:

- подготовки космонавтов к ВКД на всех этапах в макетах выходных космических скафандров и водолазном снаряжении в условиях моделированной невесомости в гидросреде;
- подготовки космонавтов на всех этапах в макетах выходных космических скафандров подготовки «посуху», без погружения под воду;
- подготовки космонавтов по покиданию приводнившегося спускаемого аппарата и практические занятия по подъему на борт вертолета;
- тренировочных спусков в поточно-декомпрессионной барокамере;
- тренировочных погружений в водолазном снаряжении;
- ознакомительных погружений в макетах выходных космических скафандров и водолазном снаряжении;
- испытаний оборудования и средств ВКД, используемых при проведении выходов в открытый космос и на поверхность планет;
- подводно-технических работ (подготовка макетов космических аппаратов к проведению испытательно-тренировочных работ, обслуживание технологического оборудования и резервуара ГЛ);
- приемки макетов космических аппаратов (экспериментальных установок) в эксплуатацию.

ИТК ГЛ представляет собой сложное гидротехническое сооружение, включающее в себя следующие технологические системы и комплексы:

- резервуар гидролаборатории ЦПК имени Ю.А. Гагарина предназначен для проведения испытательных работ, эргономических исследований, специальной водолазной подготовки космонавтов и тренировок космонавтов по внекорабельной деятельности на макетах космической техники в условиях моделированной невесомости в гидросреде;
- комплекс монтажно-подъемной платформы гидролаборатории ЦПК имени Ю.А. Гагарина (КМПП) предназначен для сборки и размещения макетов космической техники, а также погружения их на различную глубину с использованием механизмов подъема/опускания и стопорения как при наличии воды в резервуаре, так и при ее отсутствии;
- система обратного водоснабжения предназначена для заполнения резервуара водой, обеспечения рециркуляционного режима работы с поддержанием параметров воды, соответствующих требованиям безопасного пребывания людей в воде и обеспечивающих качественное проведение фото-

и видеосъемки, обеспечения отвода воды из резервуара при рециркуляции, частичном или полном сбросе воды, а также в аварийных ситуациях;

– система воздуха высокого давления предназначена для выработки, хранения воздуха высокого давления и обеспечения подачи воздуха для дыхания операторов, работающих в скафандрах типа «Орлан» или ЕМУ, заправки аквалангов, обеспечения работы поточно-декомпрессионной камеры, стационарной системы вентиляции и охлаждения спецснаряжения и пневматического привода механизма стопорения монтажно-подъемной платформы, а также для наполнения транспортных баллонов сжатым воздухом;

– стационарная система вентиляции и охлаждения спецснаряжения предназначена для обеспечения подачи воздуха на вентиляцию скафандров и воды для охлаждения тела оператора, одетого в костюм водяного охлаждения, а также подачи воздуха в снаряжение водолазное универсальное на дыхание оператору, выполняющему работу в гидросреде на глубине до 12 метров;

– камера декомпрессионная поточная двухотсечная предназначена для проведения декомпрессии на поверхности последовательно поступающих в камеру групп водолазов, лечение специфических водолазных заболеваний, а также приобретения первичной устойчивости (натренированности) организма водолаза к воздействию опасных и вредных факторов водолазного спуска;

– кран мостовой электрический однобалочный опорный, управление с пола с радиопульта предназначен для выполнения подъемно-транспортных операций с макетами космической техники и технологическим оборудованием;

– консольные электрические краны левого и правого исполнений предназначены для опускания и подъема операторов, снаряженных в макеты выходных скафандров, а также для выполнения подъемно-транспортных операций с экспериментальным оборудованием в ИТК в процессе проведения испытательно-тренировочных работ;

– модуль интерфейса физиологического контроля (МИФК) предназначен для контроля функционального состояния двух операторов, снаряженных в скафандры типа «Орлан-ГН»;

– система контроля технических параметров предназначена для контроля технических параметров системы жизнеобеспечения двух скафандров типа «Орлан-ГН» и расчета параметров энергозатрат двух операторов, выполняющих рабочие операции в гидросреде и снаряженных в скафандры;

– специализированная система освещения резервуара гидролаборатории предназначена для энергоэффективного управления освещением резервуара, создания уровней освещенности внутри резервуара, оптимальных для выполнения рабочих операций водолазами и операторами, снаряженными в скафандры типа «Орлан-ГН» и для проведения качественной подводной фото- и видеосъемки;

– гидроакустическая система связи для обеспечения испытательно-тренировочных работ в условиях моделированной невесомости в гидролаборатории предназначена для обеспечения качественной односторонней связи между руководителем испытательно-тренировочных работ, руководителем водолазных спусков и водолазами, работающими в гидросреде;

– система подводной и наземной (ДЕСТ) связи гидролаборатории предназначена для организации проводной связи между двумя операторами, снаряженными в скафандры типа «Орлан-ГН» и руководителем испытательно-тренировочных работ, а также беспроводной конференц-связи между членами испытательно-тренировочной бригады;

– система видеоконтроля гидролаборатории (СВК) предназначена для непрерывного телевизионного наблюдения, видеозаписи процесса тренировки с подводных и наземных подвижных и стационарных видеокамер.

Основным конструктивным элементом ИТК ГЛ является резервуар диаметром 23 метра и глубиной 12 метров. Объем резервуара 5000 м^3 (рис. 1). В стенку резервуара вмонтированы иллюминаторы, предназначенные для визуального наблюдения, производства фото- и видеосъемок, а также для освещения объектов, находящихся в воде.

Система оборотного водоснабжения обеспечивает поддержание температуры воды в резервуаре в пределах $30 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Данный температурный режим обеспечивает необходимые условия проведения испытательно-тренировочных работ (ИТР) по медицинским показаниям.

В резервуаре размещена монтажно-подъемная платформа, масса которой в нагруженном состоянии может составлять 45 тонн. На данной платформе располагаются макеты модулей российского сегмента МКС, а также необходимое оборудование и средства подготовки космонавтов.

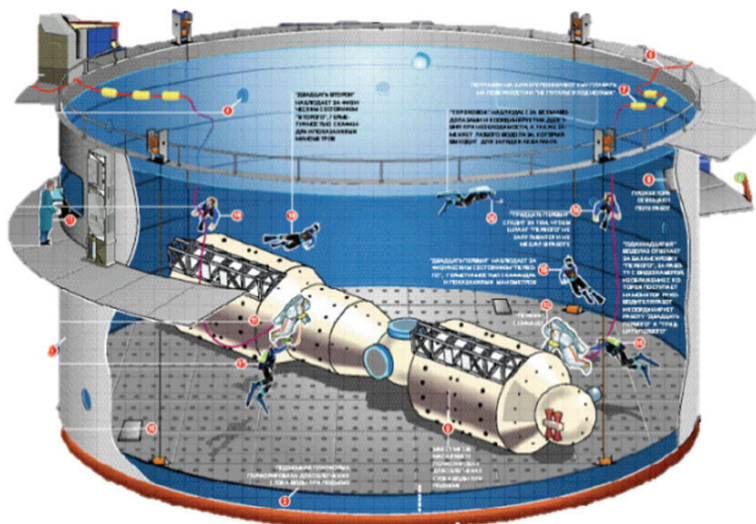


Рис. 1. Схема ГЛ ЦПК [9]

Монтаж на платформе или возвращение к месту временного хранения крупногабаритного оборудования, имеющего большую массу, осуществляется посредством крана мостового электрического однобалочного опорного.

Состав и оснащение ИТК ГЛ позволяет решать новые задачи в интересах перспективных космических программ:

– осуществлять моделирование условий пониженной веса, соответствующих условиям веса на Луне (Марсе), и проводить подготовку космонавтов к напланетной деятельности [3, 4];

– осуществлять подготовку космонавтов к работе с перспективными робототехническими системами [5].

Лаборатория нейтральной плавучести (NBL – Neutral Buoyancy Laboratory)

Лаборатория нейтральной плавучести расположена в Учебном центре Сонни Картера (NASA, Хьюстон, штат Техас). Она была сдана в эксплуатацию в 1995 году. NBL проектировалась с расчетом на то, что в ней можно выполнять одновременно две тренировки или два испытания. Кроме того, проектом предусматривался монтаж полноразмерного макета станции «Freedom», а позднее МКС [6].

Лаборатория имеет следующие размеры резервуара: длина 62 метра, ширина 31 метр и глубина 12 метров (рис. 2). Объем резервуара 23 064 м³. Стандартное оборудование для больших бассейнов обеспечивает необходимый химический состав воды и температуру в диапазоне 27–31 °С [6].

Для перемещения больших объектов в лаборатории нейтральной плавучести есть два мостовых крана грузоподъемностью 10 тонн каждый. По периметру резервуара установлены четыре консольных крана грузоподъемностью 1,6 тонн, предназначенных для погружения и извлечения из воды одновременно двух астронавтов, снаряженных в СК (рис. 2).

Персонал лаборатории нейтральной плавучести обеспечивает: обслуживание объекта, безопасность, работоспособность необходимых коммуникаций, видеосвязь, медицинское обеспечение, обслуживание скафандров, подготовку экипажей и техническое сопровождение подготовки.

Для наблюдения за состоянием водолазов и астронавтов в лаборатории нейтральной плавучести сформирована собственная медицинская бригада. На случай возникновения у водолазов и операторов СК признаков декомпрессионных расстройств в лаборатории имеется собственная гипербарическая камера.

Лаборатория нейтральной плавучести оснащена системой связи, обеспечивающей ведение переговоров между операторами, снаряженными в скафандры с инструктором, постановщиком эксперимента, членами группы управления в ЦУПе Космического центра имени Джонсона и членами экипажа, находящимися в тренажере МКС. Также организована односторонняя связь с водолазами.

В лаборатории эксплуатируются два функциональных макета роботизированных манипуляторов (Canadarm и Canadarm 2) (рис. 3). Их функционирование обеспечивается гидравлической системой, а управление осуществляется с оригинальной консоли, установленной в контрольном помещении.

Для предотвращения возникновения специфических заболеваний, связанных с работой под повышенным давлением, для дыхания водолазов используется найтрокс. Найтрокс и вода для охлаждения СК Extravehicular Mobility Unit (EMU) подаются по фалам жизнеобеспечения.

Изображение со стационарных и ручных камер анализируется инструктором, проводящим тренировку, и аналитической группой, наблюдающей за ходом тренировки. Полученный видеоматериал используется специалистами NASA для анализа качества работ, выполненных операторами в ходе тренировки.

Каждые 19,6 часа вода в резервуаре подвергается полной очистке. Большое внимание уделяется химическому анализу воды лаборатории нейтральной плавучести. Проводится контроль роста загрязняющих веществ, способствующий минимизации коррозии макетов и оборудования ВКД.

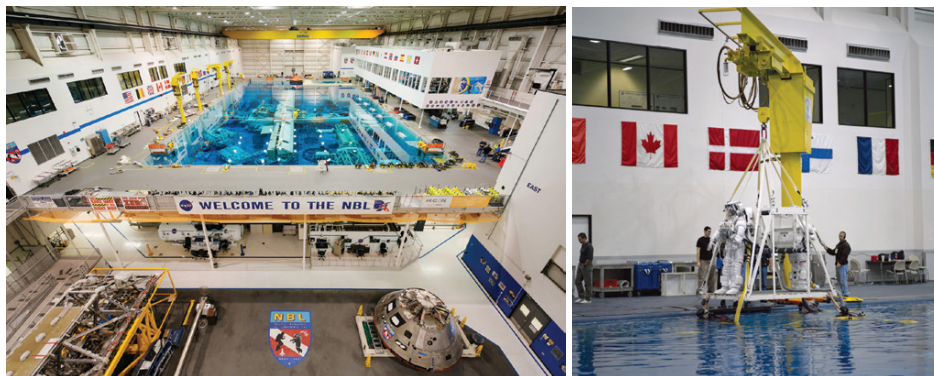


Рис. 2. Лаборатория нейтральной плавучести (NASA) [7]

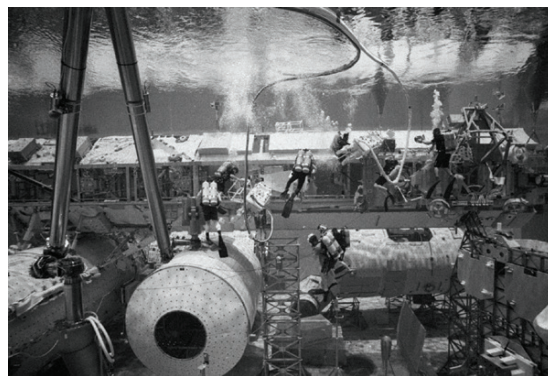


Рис. 3. Функциональный макет роботизированного манипулятора [7]

Тренажер нейтральной плавучести (NBF – Neutral Buoyancy Facility)

Данный тренажер, расположенный в Европейском центре астронавтов (ЕАС, г. Кельн, Германия), был сдан в эксплуатацию в 2002 году. В состав тренажера входят: резервуар с водой, помещение контроля, комната с водолазным снаряжением, класс подготовки оборудования ВКД, электрическая и механическая мастерские, станция заправки водолазного снаряжения, помещения с системами обслуживания резервуара, станция фильтрации и очистки воды, система водоподогрева, душевые, раздевалки и сауна [8].

Резервуар имеет длину 22 метра, ширину 17 метров и глубину 10 метров. Объем 3747 м^3 (рис. 4). Система подогрева воды поддерживает температуру в диапазоне 27–29 °С.

Резервуар оборудован погружающейся платформой длиной 5 и шириной 3,5 метра. Платформа обеспечивает подъем и погружение в воду конструкций массой до 250 кг на глубину от 0 до 9,5 метра.

Для перемещения крупногабаритных конструкций внутри здания имеется грузовой кран грузоподъемностью 5 тонн.

Экспериментальная теплоизоляционная система тренажера позволяет накапливать солнечное тепло и использовать его для поддержания температуры в помещении с резервуаром на уровне 31 °С.

В резервуаре обеспечивается непрерывный мониторинг качества воды (значение рН, хлорированность и температура).

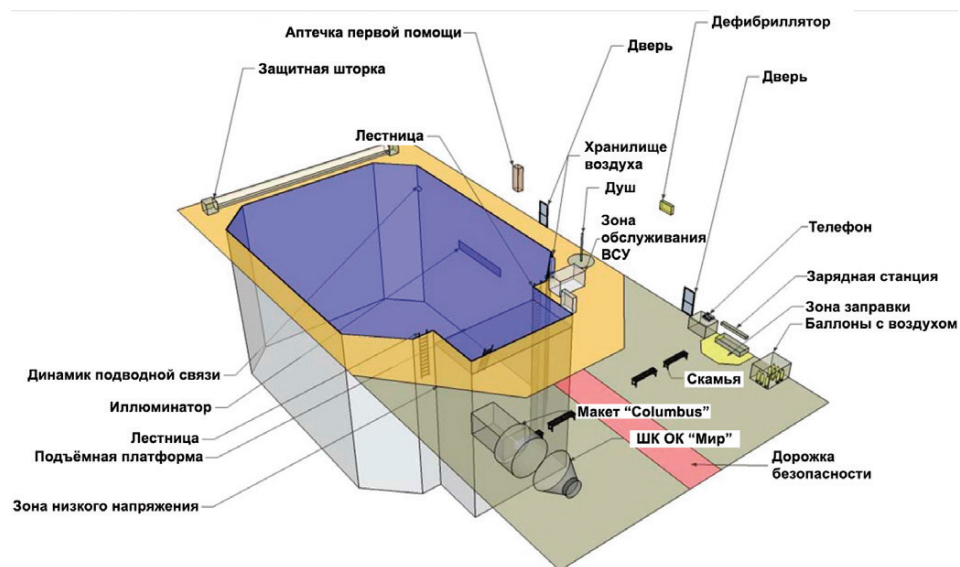


Рис. 4. Резервуар тренажера нейтральной плавучести [8]

Освещение рабочей зоны обеспечивается двумя водонепроницаемыми светильниками (с размерами 500 x 500 x 200), управляемыми с поста руководителя тренировки. Резервуар оборудован одним иллюминатором (с размерами 1000 x 500), расположенным на северной стене на глубине 3,3 метра.

Цикл очистки всей воды в резервуаре длится 16 часов. Вода циркулирует через 40 отверстий, расположенных на дне резервуара, со скоростью 220 м³/ч. Вода из резервуара сливается по закрытому каналу в близлежащий водоем. Система очистки воды располагается на подземном этаже здания.

На сегодняшний день тренажер нейтральной плавучести не оборудован системами для работы в скафандре. Имитация работы в скафандре обеспечивается тремя специально доработанными комплектами универсального водолазного снаряжения (рис. 5) в составе:

- полнолицевой маски с микрофоном и наушниками для двусторонней связи между оператором и инструктором;
- жилета-компенсатора с инфлятором, 6-литровым резервным воздушным баллоном, манометрами и водолазным компьютером;
- 60-метрового фала жизнеобеспечения, соединенного с воздушной системой и системой связи.

В комплект универсального водолазного снаряжения входят береговая консоль с системой аудио- и видеоконтроля, визуального контроля давления, а также баллоны с воздухом.

Работу операторов в универсальном водолазном снаряжении контролируют страхующие водолазы.

В резервуаре тренажера нейтральной плавучести установлены макеты европейского сегмента МКС (модуль «Коламбус») с ручными и интерфейсами ВКД, макет российского шлюзового отсека (ОК «Мир»), макет дополнительных солнечных батарей.



Рис. 5. Универсальное водолазное снаряжение [8]

При проведении тренировок на тренажере нейтральной плавучести используются преимущественно оборудование и инструмент ВКД НАСА:

- поручни НАСА;
- фиксатор для ног (PFR);
- имитатор ботинок скафандра EMU;
- габаритный макет системы жизнеобеспечения СК EMU (PLSS), перчатки и шлем;
- навесное оборудование СК EMU (Mini Work Station);
- страховочные фалы;
- электросоединители ВКД;
- контейнер для инструментов;
- контейнер для укладок ВКД.

Пост контроля оборудован 8-канальной системой видеофиксации с возможностью одновременной записи и наблюдения за всеми объектами комплекса. Отдельный монитор с возможностью переключения изображения установлен рядом с резервуаром. Двухконтурный канал обеспечивает двунаправленную связь между руководителем тренировки и наземной бригадой (включая приватный канал с операторами в универсальном водолазном снаряжении), а также однонаправленную связь между руководителем бригады и водолазами. Связь между членами наземной бригады обеспечивается по беспроводному каналу.

В настоящее время астронавты Европейского космического агентства на базе тренажера нейтральной плавучести проходят ознакомительную подготовку по типовым операциям и правилам ВКД. Навыки работы и подготовку к ВКД в СК EMU астронавты проходят в учебном центре Сонни Картера (NASA, США).

Китайский тренажер нейтральной плавучести Chinese Neutral Buoyancy Facility (CNBF)

Этот тренажер расположен в китайском Центре подготовки тайконавтов в Пекине (рис. 6). В 2007 году он был введен в эксплуатацию, а с 2008 года началась подготовка тайконавтов [9].

Резервуар для моделирования невесомости представляет собой цилиндрический бассейн, изготовленный из нержавеющей стали. Основные технические характеристики резервуара: диаметр 23 м; глубина 10 м; объем 4200 м³. Рабочая температура воды 28–30 °С.

На борту резервуара располагаются два консольных крана, которые позволяют опускать в воду операторов, снаряженных в скафандры (рис. 6).

Для обеспечения работоспособности тренажера нейтральной плавучести и безопасности испытателей имеются: система оповещения, система мониторинга физиологических параметров и медицинского контроля, система воздуха высокого давления, водообеспечения и другие системы.



Рис. 6. Тренажер нейтральной плавучести (CNBF)
(вид здания и бассейна) [9]

Для визуального наблюдения и контроля тренировок установлены 4 подводные камеры, мобильная камера и имеются 12 иллюминаторов.

Для каждой тренировки требуется как минимум семь водолазов, а также более 50 членов бригады, обеспечивающей тренировку двух операторов. Продолжительность одной тренировки от двух до шести часов.

Выводы

1. Страны, принимающие участие в международной кооперации по эксплуатации МКС (Россия, США, Германия), а также действующие в интересах своих собственных космических программ (Китай), активно используют гидротренажерные комплексы в качестве технического средства подготовки космонавтов (астронавтов, тайконавтов) к ВКД.

2. Испытательно-тренировочные работы, проводимые во всех эксплуатируемых, на данный момент, гидролабораториях, обеспечиваются за счет создания нейтральной (нулевой) плавучести скафандров и необходимого экспериментального оборудования.

3. Тренировки космонавтов (астронавтов, тайконавтов) осуществляются на макетах модулей орбитальных станций (ОС), внешняя поверхность которых, включая отдельные элементы конструкции и экспонируемую научную аппаратуру, максимально соответствует внешней компоновке штатных модулей.

4. С точки зрения макетирования рабочих зон и трасс переходов, используемых в ходе ВКД, только Лаборатория нейтральной плавучести (NBL) позволяет создать почти полную конфигурацию американского сегмента МКС. Остальные гидролаборатории из-за ограниченных размеров позволяют разместить в резервуаре бассейна от одного до трех модулей.

5. Одним из существенных конструктивных различий лабораторий, представленных в данной статье, является наличие или отсутствие подвижной (погружаемой) платформы, на которой размещаются макеты-модули

ОС и оборудование, необходимое для проведения конкретной тренировки. Наличие такой платформы в некоторых случаях существенно упрощает процесс создания или изменения требуемой конфигурации макетов.

6. При развитии средств подготовки космонавтов к деятельности на других планетах и на новой космической технике, создаваемой в рамках реализации перспективных космических программ, целесообразно создание новых гидролабораторий с учетом опыта эксплуатации всех существующих гидротренажерных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Основные этапы развития отечественной внекорабельной деятельности космонавтов / А.А. Алтунин, Н.А. Бачмановский, Д.И. Верба, В.С. Коренной, М.А. Зайцев // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(16). – 2015. – С. 123–128.
- [2] Сборочно-монтажные и ремонтно-монтажные работы в космическом пространстве / А.П. Александров, В.Д. Гречко, В.Н. Кобрин, О.С. Цыганков. – Харьков: ХАИ, 1990.
- [3] К вопросу подготовки космонавтов для работы на поверхности Луны / Е.Ю. Иродов, П.П. Долгов, В.С. Коренной, Б.И. Крючков, В.И. Ярополов // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 1(26). – С. 71–89.
- [4] Профессиональная подготовка космонавтов к внекорабельной деятельности на Луне / Алтунин А.А., Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Онуфриенко Ю.И. // Идеи и новации. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 58–63.
- [5] Средства подготовки космонавтов для работы с перспективной робототехнической системой / П.П. Долгов, Е.Ю. Иродов, В.С. Коренной, Н.А. Бачмановский // Пилотируемые полеты в космос. – 2016. – № 2(19). – С. 58–66.
- [6] «Sonny Carter Training Facility» [Электронный ресурс] URL: https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/167748main_FS_NBL508c.pdf (дата обращения 23.07.2019).
- [7] «NBL Characteristics. About the NBL». NASA. June 23, 2005. [Электронный ресурс] URL: <http://dx12.jsc.nasa.gov/about/index.shtml> (дата обращения 23.07.2019).
- [8] ESA_s_Neutral_Buoyancy_Facility_at_EAC [Электронный ресурс] URL: <http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/02/> (дата обращения 23.07.2019).
- [9] «见识中国第一大水槽» [Электронный ресурс] URL: <http://www.spacemore.com.cn/Article/Detail?id=1764> (дата обращения 23.07.2019).
- [10] «Без веса: Снизить вес до нуля». [Электронный ресурс] URL: <https://www.pop-mech.ru/science/7930-bez-vesa-snizit-ves-do-nulya/> (дата обращения 23.07.2019).

REFERENCES

- [1] Main development stages of domestic extravehicular activity of cosmonauts/ A.A. Altunin, N.A. Bachmanovsky, D.I. Verba, V.S. Korennoy, M.A. Zaytsev // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – No 3(16). 2015. – pp. 123–128.
- [2] Assembly and repair operations in outer space / A.P. Aleksandrov, V.D. Grechko, V.N. Kobrin , O.S. Tsygankov. – Kharkov, KhAI, 1990.
- [3] Cosmonaut training for work on the lunar surface / E.Yu. Irodov, P.P. Dolgov, V.S. Korennoy, B.I. Kruchkov, V.I. Yaropolov // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2018. – No 1(26). – pp. 71–89.

- [4] Cosmonaut training for EVA operations on the lunar surface / A.A. Altunin, P.P. Dolgov., E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, Yu.I. Onufrienko // Ideas and Innovations. – 2018. – V. 6, No 3. – pp. 58–63.
- [5] Facilities of cosmonaut training for working with advanced robotic systems / P.P. Dolgov, E.Yu. Irodov, V.S. Korennoy, N.A. Bachmanovsky // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2016. – No 2(19). – pp. 58–66.
- [6] «Sonny Carter Training Facility» [Electronic source] URL: https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/167748main_FS_NBL508c.pdf (accessed date 23.07.2019).
- [7] “NBL Characteristics. About the NBL». NASA. June 23, 2005. [Electronic source] URL: <http://dx12.jsc.nasa.gov/about/index.shtml> (accessed date 23.07.2019).
- [8] ESA_s_Neutral_Buoyancy_Facility_at_EAC [Electronic source] URL: <http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/02/> (accessed date 23.07.2019).
- [9] «见识中国第一大水槽» [Electronic source] URL: <http://www.spacemore.com.cn/Article/Detail?id=1764> (accessed date 23.07.2019).
- [10] No weight: reduce weight to zero. [Electronic source] URL: <https://www.popmech.ru/science/7930-bez-vesa-snizit-ves-do-nulya/> (accessed date 23.07.2019).