

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА РС МКС

В.И. Васильев, Е.В. Попова, П.А. Сабуров

В.И. Васильев; Е.В. Попова; П.А. Сабуров
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена вопросам подготовки космонавтов к выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов на МКС, состояния и развития в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» технических средств подготовки космонавтов по этому виду подготовки.

Ключевые слова: космический эксперимент, подготовка космонавтов, технические средства подготовки космонавтов, научная аппаратура, целевое оборудование, тренажерные образцы.

Creation and Improvement of the Scientific and Technical Basis for Preparing Cosmonauts to Carry Out Applied Experimental Research on Board the ISS RS. V.I. Vasiliev, E.V. Popova, P.A. Saburov

The article covers the issues of training cosmonauts for carrying out applied experimental research on board the ISS. It also describes appropriate technical facilities available at the Yu.A. Gagarin Research&Test CTC.

Keywords: space experiment, cosmonaut training, technical means for cosmonaut training, scientific equipment, purpose-designed equipment, training units.

Целью создания российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) является выполнение национальной программы научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ) в интересах социально-экономического развития Российской Федерации.

Исследования на борту РС МКС проводятся в соответствии с российской «Долгосрочной программой НПИ, планируемых на российском сегменте МКС» (ДПНПИ) [1]. Она определяет состав экспериментов и исследований, принятых для реализации на РС МКС.

В ДПНПИ космические эксперименты (КЭ) сгруппированы в тематические разделы по шести направлениям научно-технических исследований:

1. Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса.
2. Исследование Земли и космоса.
3. Человек в космосе.
4. Космическая биология и биотехнология.
5. Технологии освоения космического пространства.
6. Образование и популяризация космических исследований.

Направление	Введен	Готовит-ся	Реализуется	Анализируется	Завершен	Всего
1. Физико-химические процессы и материалы в условиях космоса	0	20	6	0	5	31
2. Исследование Земли и космоса	0	35	6	0	18	59
3. Человек в космосе	0	9	18	0	27	54
4. Космическая биология и биотехнология	4	11	19	0	25	59
5. Технологии освоения космического пространства	6	32	18	0	22	78
6. Образование и популяризация космических исследований	0	8	6	0	4	18
ИТОГО	10	115	73	0	101	299

Рис. 1. Российская ДПНПИ на РС МКС (по состоянию на 2019 год)

Наибольшее количество экспериментов проводится по направлениям исследований «Технологии освоения космического пространства», «Исследование Земли и космоса» и «Космическая биология и биотехнология» [7, 8].

Результаты научных исследований и экспериментов, проводимых на РС МКС, зависят не только от технического оснащения экспериментов, их наземной подготовки, но и от других аспектов, среди которых немаловажную роль играет качество подготовки космонавтов.

Постоянное возрастание объема и сложности ДПНПИ на борту РС МКС требует развития, совершенствования и создания новых технических средств подготовки космонавтов (ТСПК) к выполнению НИИ.

Количество выполняемых экспериментов на борту МКС в среднем на экипаж составляет 46, из них 82 % с участием космонавтов. В ходе конкретных экспедиций МКС выполняется от 35 до 60 экспериментов.

На выполнение российской научной программы уходит в последние годы в среднем 35 % фактического рабочего времени космонавтов с учетом работ по Task List (в свободное время), а в период экспедиций МКС-41–МКС-51 – 38,5 %.

Таким образом, наблюдается динамика повышения объема выполняемых работ по российской научной программе. Однако с апреля 2017 года, начиная с экипажа МКС-51/52, произошло существенное снижение объема работ в этом направлении, что обусловлено переходом на полет экипажа МКС не с тремя российскими космонавтами, а с двумя, и необходимостью выполнения оставшимися космонавтами всех необходимых служебных операций на РС МКС.

Объем и сложность российской программы НПИ особенно ощутимо возрастут после дооснащения РС МКС многоцелевым лабораторным модулем с улучшенными эксплуатационными характеристиками (МЛМ-У) «Наука» и научно-энергетическим модулем (НЭМ) за счет доставки на МКС целого комплекса новых полезных нагрузок (КЦН).

МЛМ-У станет научной лабораторией РС МКС, обеспечит работу с внешними блоками НА без необходимости выхода космонавтов в открытый космос. Для этого на нем снаружи будут установлены 13 универсальных рабочих мест наружных (УРМ-Н) и европейский манипулятор ERA для их автоматизированного обслуживания, обеспечено функционирование специализированной шлюзовой камеры (ШК).

В гермоотсеке МЛМ-У организуется 20 универсальных рабочих мест внутренних (УРМ-В), оснащенных механическими адаптерами и целевым оборудованием (ЦО):

- 4 универсальных рабочих места с выдвижными модуль-полками;
- выдвижная полка с перчаточным боксом (ЦО «Главбокс-С»);
- 2 рамы с термостатами биотехнологическими универсальными высокотемпературными (ТБУ-В);
- рама с термостатом биотехнологическим универсальным низкотемпературным (ТБУ-Н);
- рама с автоматической поворотной виброзащитной платформой (АПВП) «Флюгер»;
- УРМ-В с многозонной электровакуумной печью (ЦО «МЭП-01»);
- УРМ-В с иллюминатором диаметром 426 мм с кронштейном для проведения визуальных и инструментальных наблюдений.

Под целевым оборудованием (ЦО) понимаются универсальные технические средства, предназначенные для создания определенных условий при выполнении отдельных групп КЭ и интегрированные с ПКА (например, перчаточный бокс, термостаты, электропечь, виброзащитные платформы).

НЭМ предназначен для обеспечения энергетической независимости РС МКС и проведения фундаментальных и научно-прикладных исследований и экспериментов. При этом приоритетным является обеспечение размещения и функционирования медико-биологического оборудования. В составе НЭМ предусматривается система медицинского обеспечения, включающая медицинский шкаф, бегущую дорожку и велоэргометр, в нем будут в основном проводиться медико-биологические исследования. На НЭМ снаружи будут установлены 4 УРМ-Н, в гермоотсеке – 5 УРМ-В:

- с обеспечением защиты от вибрации и микроускорений;
- с обеспечением термостатирования и вакуумирования;
- с иллюминатором диаметром 426 мм с кронштейном для проведения визуальных и инструментальных наблюдений;
- 2 УРМ-В с выдвижными модуль-полками.

Таким образом, к 2023 году общая масса РС МКС составит 122 т, гермообъем – до 400 м³, суммарная мощность СБ – 80 кВт. Данная конфигурация позволит, при необходимости, обеспечить переход РС МКС к автономному полету в качестве отдельной российской орбитальной космической станции. Полномасштабное развертывание РС МКС позволит значительно повысить объем и сложность российской программы НПИ, что требует развития, совершенствования и создания новых ТСПК к выполнению НПИ.

Состав комплекса ТСПК, обеспечивающего подготовку космонавтов по НПИ на РС МКС, представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Структура ТСПК по НПИ (настоящее время)

Подготовка проводится в учебных классах, на функционально-моделирующих стендах (ФМС), на комплексном тренажере РС МКС (КТ РС МКС) и самолете-лаборатории (СЛ) Ту-134 ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», а также на базах РКК «Энергия», постановщиков экспериментов и разработчиков НА.

В состав тренажеров малого исследовательского модуля (МИМ1) и МЛМ входят 13 универсальных рабочих мест комплекса целевых нагрузок (УРМ КЦН).

УРМ КЦН – рабочие места с унифицированными интерфейсами (механическими, электрическими, информационными и т.п.), создаваемые внутри гермоотсеков или на наружной поверхности ПКА еще на стадии разработки и изготовления ПКА на Земле и предназначенные для размещения и обеспечения функционирования НА и ЦО с использованием технологии сменных полезных нагрузок (рис. 3).

На тренажерах модулей РС МКС создаются аналогичные УРМ КЦН, предназначенные для размещения и обеспечения функционирования тренажерных (технологических, летных) комплектов НА и ЦО для проведения подготовки космонавтов.

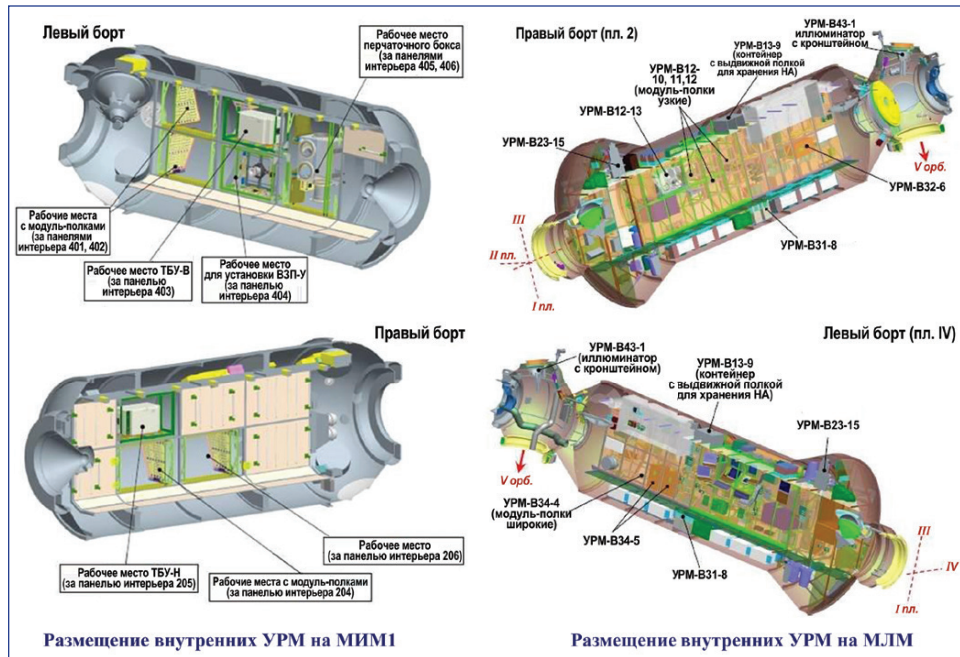


Рис. 3. УРМ КЦН на КТ РС МКС

В комплект тренажерных макетов НА и ЦО входят тренажерные, технологические, летные макеты НА и ЦО, которые используются для отработки действий космонавтов в условиях штатной и нештатной работы ЦО и НА как автономно в учебных классах, так и на КТ РС МКС и на самолетах-лабораториях.

На рисунке 4 представлена динамика изменения структуры ТСПК по НИИ в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с 2009 года по настоящее время.

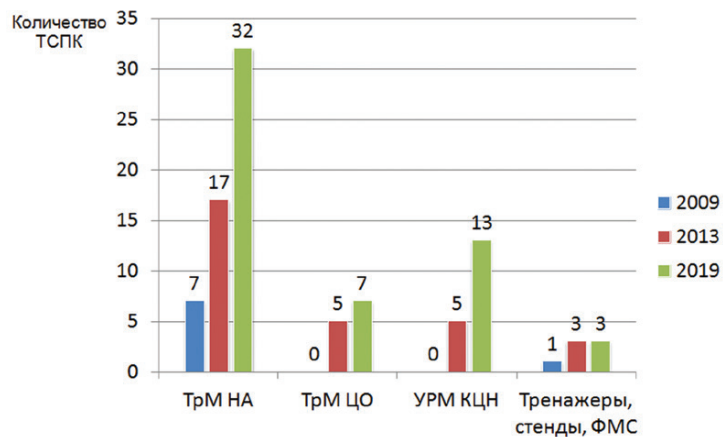


Рис. 4. Динамика изменения структуры ТСПК по НИИ

В 2011–2013 годах в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» был создан и начал использоваться в подготовке космонавтов новый комплекс ТСПК по экспериментам [2–5]:

- стенд-тренажер для подготовки космонавтов для решения задач в области геофизических исследований и мониторинга Земли с борта РС МКС методами визуально-инструментальных наблюдений (ВИН) (стенд «Тренажер ВИН»);
- мобильные автоматизированные рабочие места для проведения авиационных ВИН (АРМ-АВИН) на самолетах-лабораториях;
- комплекс функционально-моделирующих стендов, включающих компьютерные виртуальные тренажеры по КЭ и НА на основе интерактивных 3D-моделей НА, для подготовки космонавтов по КЭ и НА на РС МКС (комплекс «ФМС Наука»).

В конце 2012 года в эксплуатацию введен стенд «Тренажер ВИН», обеспечивающий подготовку космонавтов для решения задач визуально-инструментальных наблюдений и мониторинга Земли с борта РС МКС [6].

Структурно стенд представляет собой три функциональные зоны, объединенные единым информационным пространством (рис. 5):

- зона тренировки;
- лекционная зона;
- методическая зона.

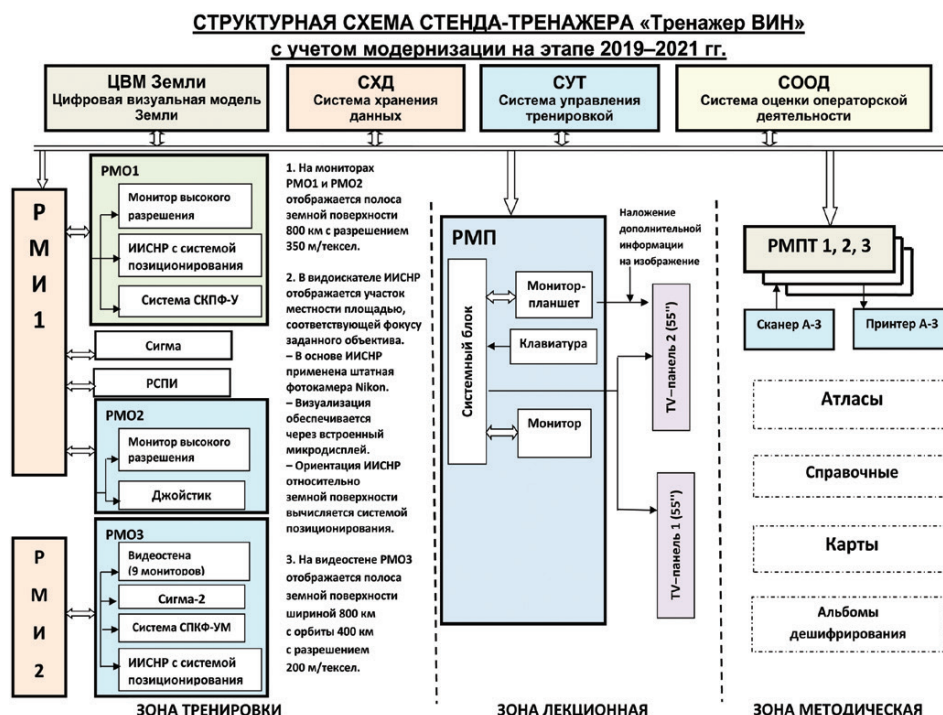


Рис. 5. Структурная схема стенда «Тренажер ВИН»

Эти зоны аппаратно автономны и могут использоваться одновременно для осуществления разных форм подготовки по ВИН.

По состоянию на декабрь 2019 года зона тренировки стенда состоит из 3 рабочих мест (рис. 6): инструктора (РМИ), оператора 1 (РМО1), оператора 2 (РМО2).

Лекционная зона состоит из рабочего места преподавателя (РМП), двух телевизионных панелей размером 55 дюймов и 8 рабочих мест для обучаемых.

На мониторах отображается информация независимо друг от друга. Предусмотрено два канала отображения, исходя из необходимости предоставления обучаемым двух дополняющих друг друга снимков, либо пояснения к снимку. В одном из каналов предусматривается возможность интерактивной записи информации преподавателем, для этого дополнительно введен монитор-планшет.

Методическая зона состоит из 3 рабочих мест подготовки тренировки (РМПТ), сканера и принтера.

Специализированное программное обеспечение рабочего места подготовки тренировки (СПО РМПТ) обеспечивает разработку исходных данных на тренировку с последующим автоматическим формированием методической карточки тренировки.

Функционирование стенда обеспечивает комплекс информационных и программно-аппаратных средств, включающий в себя:

- цифровую визуальную модель (ЦВМ) Земли;
- систему хранения данных;
- систему управления тренировкой;
- систему оценки операторской деятельности.



Рис. 6. Зона тренировки стенда «Тренажер ВИН»

Стенд-тренажер обеспечивает решение следующих задач:

- получение кандидатами в космонавты базовых знаний и практических навыков по вопросам выполнения ВИН на этапе общекосмической подготовки;
- подготовка к выполнению ВИН в группах специализации и совершенствования (углубленное изучение некоторых вопросов, получение основных умений и навыков и закрепление навыков по выполнению ВИН и работе с научной аппаратурой);
- подготовка в экипажах (получение информации о предстоящей программе полета, подробное знакомство с предстоящими объектами наблюдений и дополнительная отработка навыков работы с научной аппаратурой);
- отработка профессиональных навыков у космонавтов в дешифрировании наблюдаемых в полете объектов;
- дублирование и корректировка реальной работы экипажа на орбите в процессе проведения научно-прикладных исследований и экспериментов;
- обучение космонавтов методам наблюдения и регистрации заданных объектов с помощью научной и специальной аппаратуры;
- привитие навыков по обработке и использованию полетной информации на бортовом ПК.

В 2018 году была проведена модернизация и доработка стенда «Тренажер ВИН» для реализации замечаний и предложений космонавтов по результатам проведенных занятий на стенде и выполнения космических полетов, а также в связи с изменением порядка деятельности космонавтов при выполнении экспериментов на борту РС МКС и необходимостью введения дополнительных обучающих возможностей тренажера:

- интеграция в состав стенда модели СКПФ-У (системы координатной привязки фотоизображений ультразвуковой) для обеспечения подготовки в режимах «целеуказания» и регистрации координат фотоснимков с использованием программы БНО «Сигма», модернизация СПО РМО1, РМИ;
- модернизация СПО РМО1, СПО РМО2 с целью обеспечения подготовки космонавтов к выполнению фотосъемки земной поверхности объективами с фокусным расстоянием 800–1200 мм;
- модернизация РМО1, РМО2, РМИ в части создания системы оценки операторской деятельности (ООД);
- модернизация ЦВМ Земли:
 - создание имитации теней от облачности на подстилающую поверхность;
 - обновление используемых космоснимков подстилающей поверхности суши летнего периода;
 - обновление космоснимков подстилающей поверхности суши зимнего периода;
 - добавление фотоматериалов с наблюдаемыми эффектами и объектами в акватории Мирового океана и суши в части имитации дыма от извержения вулканов и от пожаров;

– модернизация имитатора инструментального средства наблюдения и регистрации (ИИСНР):

- расширение функций контроля операторской деятельности и подключения моделей СКПФ-У;
- улучшение оптических характеристик аппаратно-оптического блока в части повышения яркости изображения в видеоискателе.

В 2019–2020 годах также планируется проведение модернизации и доработки стенда «Тренажер ВИН». Одной из задач стоит дооснащение стенда новыми РМОЗ (с видеостеной за имитатором иллюминатора) и РМИ2.

В 2012 году созданы и введены в эксплуатацию автоматизированные рабочие места авиационных визуально-инструментальных наблюдений поверхности Земли (АРМ-АВИН) на основе ноутбуков и GPS-навигаторов.

АРМ-АВИН предназначены для информационной поддержки космонавтов при их подготовке по задачам ВИН с использованием самолетов-лабораторий, проведения анализа результатов авиационных визуально-инструментальных наблюдений поверхности Земли на самолетах-лабораториях (рис. 7).

Специальное программное обеспечение АРМ-АВИН разработано на основе растровых покрытий поверхности суши Земли (территория от 85° ю.ш. до 85° с.ш.), сформированное по космическим снимкам с пространственным разрешением 15–30 метров, и обеспечивает:

- разработку планов тренировочных полетов;
- разработку маршрутов тренировочных полетов;
- изучение космонавтами маршрута тренировочного полета на этапе предполетной подготовки;
- обучение космонавтов ориентированию на местности с применением навигационных систем;
- накопление и хранение планов тренировочных полетов и треков реального движения самолета-лаборатории, что обеспечивает привязку фотоизображений, полученных обучаемыми в процессе тренировки.



Рис. 7. Подготовка космонавтов в составе групп по задачам ВИН с борта ПКА с использованием самолетов-лабораторий и АРМ-АВИН

Также в 2011–2013 годах в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» был разработан комплекс «ФМС Наука», включающий компьютерные виртуальные тренажеры по КЭ и НА на основе интерактивных 3D-моделей НА, для подготовки космонавтов по КЭ и НА, планируемых на РС МКС.

Комплекс «ФМС Наука» включает в свой состав:

- функционально-моделирующий стенд учебного класса (ФМС УК) с четырьмя АРМ обучаемого и одним АРМ преподавателя на основе ПЭВМ (рис. 8);

- функционально-моделирующий стенд комплексного тренажера (ФМС КТ) с двумя АРМ обучаемого мобильными на основе ноутбуков;

- специальное программное обеспечение (СПО).

Комплекс «ФМС Наука» позволяет решать следующие задачи:

- использование 3D-моделей КЭ и НА для подготовки космонавтов;
- возможность контролировать и оценивать этапы и итоги подготовки космонавтов с использованием 3D-моделей;

- возможность планомерного формирования знаний, умений и навыков космонавта, используя в 3D-моделях необходимое количество повторений;

- возможность проводить обучение с использованием 3D-моделей в соответствии с уровнем подготовленности космонавта по научной программе.

Технологии трехмерного моделирования на плоской поверхности монитора позволяют воспроизвести изучаемый процесс, обращая внимание на наиболее важные моменты выполнения эксперимента.

Виртуальные тренажеры по КЭ и НА разработаны для трех режимов подготовки: демонстрационный, тренировочный, экзаменационный.



Рис. 8. ФМС УК комплекса «ФМС Наука»

Виртуальные тренажеры разработаны с учетом проведения КЭ в интерьере РС МКС согласно циклограмме проведения эксперимента.

Реализация подготовки космонавтов с использованием виртуальных тренажеров имеет ряд преимуществ перед другими вариантами обучения космонавтов: возможность проведения подготовки космонавтов при отсутствии тренажерного образца НА; 3D-виртуальная модель способна отобразить все окружающее пространство космического модуля, в котором космонавт имеет возможность перемещать НА при выполнении эксперимента; продолжительность и режим обучения не ограничены по времени; не требуется постоянного присутствия инструктора, что позволяет космонавту отрабатывать эксперимент, при желании, самостоятельно; методические рекомендации осуществляются автоматически.

В комплекс «ФМС Наука» по состоянию на конец 2019 года входят виртуальные тренажеры по КЭ «Матрешка-Р», КЭ «Бар», КЭ «Ветерок», КЭ «Асептик», КЭ «Каскад», КЭ «Конъюгация» с НА «Рекомб-К», КЭ «Растения-2» (этап 2) с НА «Оранжерея Лада», по штатной аппаратуре «Бортовой шумомер», по ЦО «Главбокс-С», ЦО «ВЗП-У» (виброзащитная платформа универсальная), ЦО «Криогем-03», ЦО «ТБУ-В», ЦО «МЭП-01» (многозонная электровакуумная печь).

В 2018 году была проведена модернизация и доработка комплекса «ФМС Наука» для реализации замечаний и предложений космонавтов по результатам проведенных занятий на комплексе «ФМС Наука» в связи с необходимостью доработки ранее созданных виртуальных тренажеров по КЭ и НА по причине изменения порядка действий оператора при использовании НА, состава и размещения НА на МКС, а также для обеспечения проведения подготовки по новым КЭ и НА (рис. 9):

- комплекс был дооснащен виртуальными тренажерами по КЭ «Конъюгация» с НА «Рекомб-К» и по КЭ «Растения-2» (этап 2) с НА «Оранжерея Лада»;

- были доработаны ранее созданные виртуальные тренажеры по ЦО «МЭП-01» и ЦО «ВЗП-У»;

- комплекс был дооснащен дополнительно шестью АРМ обучаемого и одним АРМ преподавателя (АРМ П) на основе ноутбуков с системным и специальным программным обеспечением для проведения групповых занятий с космонавтами в группах совершенствования и специализации путем разработки и создания ФМС теоретической подготовки (ФМС ТП);

- были разработаны и созданы имитаторы рабочих мест (ИРМ) членов экипажа в учебном классе по КЭ «Матрешка-Р», по НА «Главбокс-С» и КЭ «Растения-2» (этап 2) с НА «Оранжерея Лада» для проведения теоретических и практических занятий с применением реальной НА.



Рис. 9. ФМС ТП и ИРМ комплекса «ФМС Наука»

Выводы

1. Значительное возрастание объема и сложности российской программы НИИ на РС МКС, систематическое введение новых экспериментов в программы работ экипажей требует развития, совершенствования и создания новых ТСПК к выполнению НИИ.

В ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в 2011–2013 годах созданы, используются в подготовке и дорабатываются уникальные современные ТСПК, включающие в себя:

- стенд-тренажер подготовки космонавтов для решения задач в области геофизических исследований и мониторинга Земли с борта РС МКС методами ВИН (стенд «Тренажер ВИН») с базой данных фотоизображений из космоса реальных наземных объектов;

- мобильные автоматизированные рабочие места для проведения авиационных ВИН (АРМ-АВИН) на самолетах-лабораториях;

- комплекс функционально-моделирующих стендов, включающих компьютерные виртуальные тренажеры по КЭ и НА на основе интерактивных 3D-моделей НА, для подготовки космонавтов по КЭ и НА на РС МКС (комплекс «ФМС Наука»).

2. Для подготовки космонавтов созданы и поставлены в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» тренажные образцы НА и ЦО.

Разработаны универсальные рабочие места по КЭ в составе комплексного тренажера РС МКС (адекватные реальным объектам).

Использование новых современных ТСПК позволяет повысить эффективность подготовки космонавтов, снизить загрузку дорогостоящих комплексных космических тренажеров, сдвинуть подготовку по НПИ на более ранние этапы подготовки космонавтов.

3. Концептуальные решения, принятые при создании ТСПК по НПИ для РС МКС, могут быть положены в основу создания средств подготовки космонавтов по перспективным, в том числе и лунным, пилотируемым программам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РС МКС до 2024 года. Версия 2018 г. – КНТС Роскосмоса, утв. 19.12.2018. – 104 с.
- [2] Лончаков Ю.В. Центр подготовки космонавтов на пути инновационного развития (к 55-летию НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина) // Пилотируемые полеты в космос. 2015, № 1(14), ФГБУ «НИИ ЦПК Ю.А. Гагарина», ISSN 2226-7298.
- [3] Этапы инновационного развития Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина / Лончаков Ю.В., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Полет, № 4, 2015, Москва, «Машиностроение». ISSN 1684-1301.
- [4] Technical Facilities to Train Cosmonauts for Carrying out Scientific Research and Experiments on the International Space Station Russian Segment. Vasiliev V.I., Popova E.V., Saburov P.A., Sokhin I.G. International Scientific and Practical Conference “Scientific Research and Experiments on the ISS”, April 9–11, 2015, Moscow, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences.
- [5] New Approaches To Cosmonaut Training On The Program Of Scientific-Applied Research And Experiments Aboard The ISS Russian Segment. Yu.V. Lonchakov, B.I. Kruichkov, V.A. Sivolap, P.A. Saburov, I.G. Sokhin 66nd International Astronautical Congress – 2015, Jerusalem, Israel, IAC Paper, IAC-13.B3.5.7x28425, ISSN1995-6258.
- [6] Применение современных информационных технологий при подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности с борта РС МКС / Васильев В.И., Васильева Н.В., Фокин В.Е., Дедкова Е.В., Бирюкова И.А., Максимов С.Н. // Пилотируемые полеты в космос. 2015, № 3(16), ФГБУ «НИИ ЦПК Ю.А. Гагарина», ISSN 2226-7298.
- [7] Перспективы развития научно-прикладных исследований и экспериментов на Международной космической станции / Крючков Б.И., Курицын А.А., Усов В.М., Попова Е.В., Поляков А.В. // Биотехносфера, 2012, № 5–6 (23–24). – С. 2–12. – ISSN 2073-4824.
- [8] Исследовательская деятельность космонавтов в длительных орбитальных полетах / Крючков Б.И., Курицын А.А., Усов В.М., Попова Е.В., Поляков А.В. // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2012, Т. 46. № 4 – С. 22–26. – ISSN 0233-528X.

REFERENCES

- [1] A long-term program of applied experimental research planned for the ISS RS until 2024. Version 2018 – KNTS Roscosmos, conf. 19.12.2018. – p. 104

- [2] Lonchakov Yu.V. Cosmonaut Training Center on the way of innovation development (55-year anniversary of the establishment of Yu.A. Gagarin R&T CTC) // Scientific Journal "Manned Spaceflight". 2015. – No 1(14), Yu.A. Gagarin R&T CTC, ISSN 2226-7298.
- [3] Stages of innovative development of the Yu.A. Gagarin R&T CTC / Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I., Kuritsin A.A. // Polyot, No 4, 2015, Moscow, «Mashinostroenie». ISSN 1684-1301.
- [4] Technical facilities for training cosmonauts to carry out scientific experimental research on the ISS RS. Vasiliev V.I., Popova E.V., Saburov P.A., Sokhin I.G. International Scientific and Practical Conference "Scientific Research and Experiments on the ISS", April 9–11, 2015, Moscow, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences.
- [5] New approaches to cosmonaut training on the program of applied experimental research on board the ISS RS. Lonchakov Yu.V., Kryuchkov B.I., Sivolap V.A., Saburov P.A., Sokhin I.G.. The 66th International Astronautical Congress – 2015, Jerusalem, Israel, IAC Paper, IAC-13.B3.5.7x28425, ISSN1995-6258.
- [6] Application of modern information technologies in cosmonaut training for visual-instrumental observations of the Earth's surface from the board of the ISS RS / Vasiliev V.I., Vasilieva N.V., Fokin V.E., Dedkova E.B., Biryukova I.A., Maksimov S.N. // Scientific Journal "Manned Spaceflight", 2015. – No 3(16), Yu.A. Gagarin R&T CTC, ISSN 2226-7298.
- [7] Prospects for the development of scientific and applied experimental research onboard the ISS / Kryuchkov B.I., Kuritsin A.A., Usov V.M., Popova E.V., Polyakov A.V. // Biotekhsfera, 2012. – No 5–6 (23–24). – pp. 2–12. – ISSN 2073-4824.
- [8] Cosmonaut research activity during long-term orbital flights / Kryuchkov B.I., Kuritsin A.A., Usov V.M., Popova E.V., Polyakov A.V. // Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina [Aerospace and Environmental Medicine], 2012. – Vol. 46. No 4 – pp. 22–26. – ISSN 0233-528X.