

**МОДЕРНИЗАЦИЯ И РЕМОНТ
ПРИБОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА КОСМИЧЕСКИХ ТРЕНАЖЕРАХ РС МКС
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FDM ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ**

В.В. Батраков, А.И. Крылов, В.Н. Саев, Б.Н. Нефедов,
В.М. Новичков, Д.В. Мухина

В.В. Батраков; канд. техн. наук А.И. Крылов; докт. техн. наук,
доцент В.Н. Саев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
Б.Н. Нефедов (ООО «ЦТиПП»)

Канд. техн. наук, доцент В.М. Новичков; Д.В. Мухина
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»)

Представлены: космические тренажеры (КТ), варианты приборного оборудования в рабочих местах операторов (РМО) КТ, многофункциональный пульт-индикатор – МПИ, средства автоматизированного проектирования (САПР), технологии 3D-печати.

Ключевые слова: космический тренажер, многофункциональный пульт-индикатор, аддитивные технологии, средства управления.

**Upgrade and Repair of the Instrumentation Equipment on the ISS
RS Simulators Using FDM 3D Printing Technology. V.V. Batrakov,**

A.I. Krylov, V.N. Saev, B.N. Nefyodov, V.M. Novichkov, D.V. Mukhina

The paper presents space simulators (SS), types of instrumentation equipment installed on the workplaces of the space simulators operators (SSOPW), multi-functional display panel (MFDP), computer-aided design (CAD) tools, 3D printing technologies.

Keywords: space simulator, multi-functional display panel, additive technologies, control facilities.

Космические тренажеры модулей российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) предназначены для отработки экипажами действий по эксплуатации систем и полезной нагрузки модулей РС МКС, а также для обеспечения безопасности экипажа и живучести станции. На КТ РС МКС проводится подготовка экипажей, включающая специализированные и комплексные задачи обучения [1].

Одним из способов поддержания в актуальном и работоспособном состоянии тренажерной базы и достижения требуемой эффективности подготовки космонавтов является модернизация технических средств подготовки космонавтов (ТСПК).

В статье представлен краткий анализ изготовленных изделий для ТСПК и вариант модернизации системы отображения информации (СОИ) КТ

малого исследовательского модуля МИМ2 «Поиск», которая затронула многофункциональный пульт-индикатор (МПИ) с целью расширения его функциональных возможностей для работы с ним экипажем МКС. В работе были использованы 3D-моделирование и FDM технологии 3D-печати.

Варианты исполнения приборного оборудования для комплектации РМО КТ

Особенностью приборного оборудования КТ является его сложная и дорогостоящая аппаратно-программная часть, которая в процессе эксплуатации постоянно меняется качественно и количественно.

При создании аппаратной части в рабочих местах операторов-космонавтов (РМО) КТ приборы имеют варианты исполнения:

- штатное исполнение;
- тренажерное исполнение;
- габаритно-массовый макет (ГММ);
- габаритное исполнение.

РМО – полномасштабные макеты КТ модулей штатного изделия РС МКС (рис. 1) [2].

Штатное исполнение приборов для укомплектования РМО КТ очень дорогостоящее, поэтому применяется не часто: в ответственных за здоровье экипажа и управление пилотируемым космическим аппаратом (ПКА) системах навигации, стыковки, жизнеобеспечения и др. Изготовление приборов в тренажерном исполнении выполняется в зависимости от задач решаемых космонавтами в процессе их подготовки. МПИ – дорогостоящий прибор, размещен на КТ модулей МИМ1 (малый исследовательский модуль «Рассвет»), МИМ2 (малый исследовательский модуль «Поиск») и МЛМ (многоцелевой лабораторный модуль «Наука»). Модули по назначению, габаритам, сложности в конструкции и компоновке абсолютно разные, поэтому в тренажерном варианте МПИ изготавливается еще и под КТ. Например, КТ МЛМ



Рис. 1. Рабочие места операторов КТ модулей РС МКС

укомплектован тремя приборами МПИ: один – штатный на региональном посту управления станцией, два – в тренажерном исполнении (для работы экипажа в шлюзовой камере и в каюте экипажа).

Комплектация РМО КТ приборами, изготовленными в исполнении габаритно-массового макета, применяется, когда необходимость в штатном и тренажерном вариантах отсутствует. Оборудование в габаритном исполнении на КТ применяется для постоянного размещения в РМО без предъявления к нему конструктивных требований.

На рисунке 2 изображен прибор МПИ на КТ модуля МИМ1 предыдущего поколения, изготовленный в тренажерном исполнении и расположенный на III плоскости (потолок) [2].



Рис. 2. Размещение МПИ на КТ модуля МИМ1

Принятие решения на модернизацию прибора МПИ на КТ МИМ2

В нормативных документах приводятся следующие определения термина «модернизация»:

1. Модернизация – комплекс работ, проводимых с целью улучшения отдельных ТТХ и показателей качества изделий ВТ (военной техники) путем ограниченного изменения его конструкции.

2. Модернизация – создание нового комплекса (его составных частей) по ТТЗ (ТЗ) государственного заказчика путем замены отдельных изделий на вновь созданные образцы, внесения изменений и дополнений в действующий комплекс (его составные части) с целью улучшения (расширения) его ТТХ.

Учитывая высокую стоимость космических тренажеров, необходима тщательная технико-экономическая оценка целесообразности модернизации каждого тренажера и функциональных систем (ФС) из состава тренажерного комплекса РС МКС. При этом сам процесс модернизации средствами предыдущего технологического поколения является затратным [3].

Обычно модернизация тренажера представляет собой модернизацию приборов, узлов, отдельных частей РМО, а также его ФС с улучшением их характеристик.

Таким образом, ключевым направлением модернизации КТ является достижение таких значений технических характеристик его обновленных приборов, узлов, отдельных частей и ФС, которые совместно обеспечивают выполнение возлагаемых на ТСПК задач подготовки космонавтов с требуемыми значениями критерия «стоимость–эффективность». Это соответственно относится и к модернизируемому МПИ как части СОИ КТ МИМ2.

После замены приборов МПИ на штатном изделии специалистами по подготовке космонавтов и специалистами по ТСПК Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина было принято решение по модернизации МПИ на всем тренажерном комплексе РС МКС. Работа началась с КТ модуля МИМ2 (рис. 3) [2].



Рис. 3. Размещение модернизированного МПИ на КТ модуля МИМ2

Основными требованиями модернизации МПИ на КТ при написании технического задания (ТЗ) являлись:

- замена штатного прибора МПИ на РС МКС;
- предложения (пожелания) экипажей;
- наличие возможности использования современных технологий при модернизации МПИ в тренажерном варианте исполнения;
- соблюдение принципа «цена–качество».

Программная часть МПИ была реализована на базе ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) под задачи модуля МИМ2. Также модернизация велась в направлении изменения дизайна лицевой панели прибора и в изменении функциональности отдельных ее элементов управления и индикации МПИ, а именно [4]:

- установлен цветной мини-дисплей, обеспечивающий требуемые режимы работы;
- интерфейс МПИ дополнен «подсказкой» для экипажа. При выборе стрелками команды по мере перемещения курсора открываются окна с детальным исполнением команды;

- кнопки МПИ выполнены в квадратной форме;
- кнопки « – » и « + » поменяли местами;
- кнопки « – » и « + » подписаны двуязычно: « – » – ОТМЕНА (BACK) и « + » – ВВОД (ENTER).

Изготовление лицевой панели и кнопок управления и индикации прибора МПИ выполнены с использованием FDM технологии 3D-печати.

FDM технологии 3D-печати при модернизации МПИ на КТ МИМ2

При производстве лицевых панелей приборов и кнопок управления и индикации используется различный материал (железо, алюминий, пластмассы) и различные методы их изготовления (литье, штамповка), достигая желаемой прочности, легкости, гибкости, долговечности и других характеристик изделия.

При изготовлении лицевой панели и кнопок управления и индикации прибора МПИ использовали 3D-моделирование и FDM технологии 3D-печати – послойное выращивание изделия из разных видов пластиковой нити (FDM – Fused Deposition Modeling). Это самый распространенный метод в области 3D-печати.

Предоставим краткий технологический процесс примененного при модернизации прибора МПИ на примере изготовления его кнопок управления и индикации.

В работе использовались основные программные средства [6, 7]:

- SolidWorks – программный комплекс САПР (средства автоматизированного проектирования);
- Autodesk Netfabb – программное обеспечение (ПО) для проектирования и подготовки изделий к печати;
- Simplify3D – слайсер-программа разбития трехмерной модели на слои, тем самым подготавливая ее к печати на 3D-принтере, что позволяет провести предпросмотр разрабатываемой модели перед запуском принтера на печать.

Вместе с программными средствами были использованы аппаратные средства – принтеры 3D-печати [5].

SolidWorks – первый программный комплекс, с которого начинается работа. Получая 3D-модель изделия SolidWorks в формате .sldprt, производит осмотр модели на пригодность к производству посредством 3D-печати.

На рисунке 4 изображен интерфейс SolidWorks с изображением 3D-модели кнопки.

Для дальнейшей подготовки модели к 3D-печати ее сохраняют в формате стереолитографии .stl [5].

С помощью программы Netfabb (рис. 5) осуществляется проверка на наличие пустых полостей или «битых» треугольников в структуре детали.

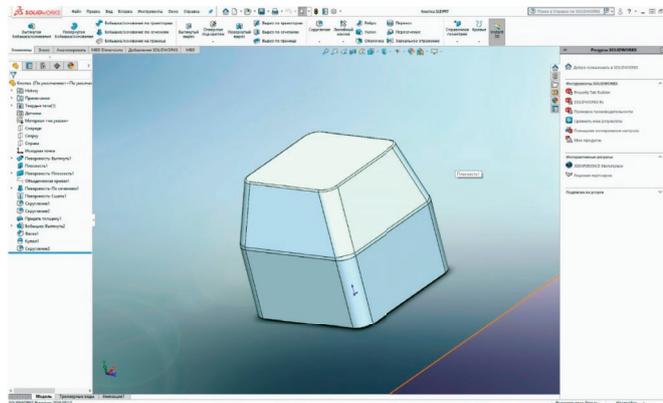


Рис. 4. Интерфейс SolidWorks

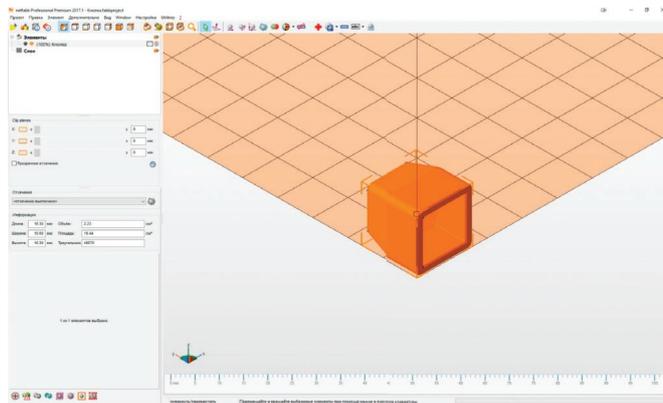


Рис. 5. Проверка структуры детали с помощью программы Netfabb

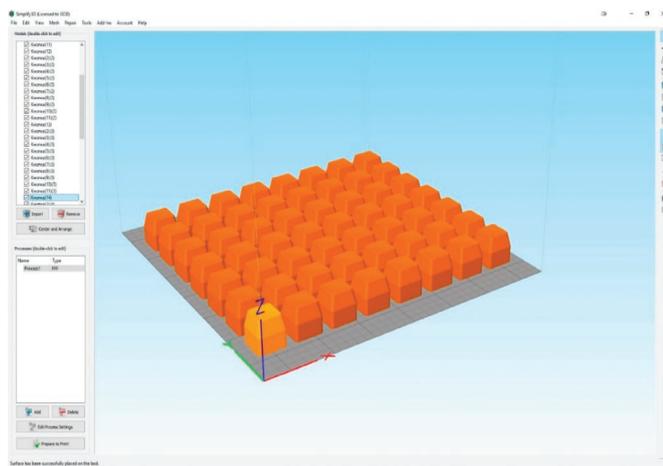


Рис. 6. Результат загрузки модели в программу Simplify3D

Если деталь не содержит пустых полостей или других критичных повреждений, то модель загружается в программу Simplify3D (рис. 6) с помощью которой идет подготовка задания для 3D-принтера и размещение ее на печатном столе, устанавливается необходимое количество копий детали.

Для обеспечения требуемого качества прототипа 3D-печати очень важно тщательно произвести ряд настроек печати – это настройка экструдера и настройка параметров печати.

Настройка экструдера производится в «Окне настроек экструдера». Основными параметрами его настроек являются:

- Nozzle Diameter – диаметр сопла экструдера;
- Extrusion Width – ширина экструзии;
- Retraction – ретракт, откат прутка в экструдере (всасывание нити в сопло) при переходе с одного островка печати на другой. Ретракт нужен для снижения количества артефактов (нитей, пупырышек) на внешней поверхности детали.

Основными параметрами настройки печати являются:

- Primary Layer Height – высота слоя;
- Top Solid Layers – количество верхних слоев;
- Bottom Solid Layer – количество нижних слоев;
- Outline/Perimeter Sells – количество периметров боковых стенок;
- Vase mode – режим печати без остановок одной линией;
- Temperature (Температура) и Cooling (Охлаждение). Эти настройки

```
кнопка.gcode — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
M106 S128
M140 S60
M190 S60
M104 S205 T0
M109 S205 T0
G28 ; home all axes
M201 X800 Y800 Z30
; process Process1
; layer 1, Z = 0.180
T0
G92 E0.0000
G1 E-2.0000 F3000
; feature skirt
; tool H0.180 W0.300
G1 Z0.400 F1200
G1 X7.596 Y16.693 F5400
G1 Z0.180 F1200
G1 E0.0000 F3000
G92 E0.0000
G1 X7.957 Y16.554 E0.0086 F1470
G1 X8.107 Y16.511 E0.0121
G1 X8.522 Y16.432 E0.0215
G1 X8.686 Y16.416 E0.0251
G1 X22.098 Y16.411 E0.3232
G1 X22.208 Y16.418 E0.3257
G1 X22.604 Y16.468 E0.3345
G1 X22.766 Y16.504 E0.3382
G1 X23.171 Y16.635 E0.3477
G1 X23.323 Y16.701 E0.3514
G1 X23.703 Y16.910 E0.3610
G1 X23.850 Y17.012 E0.3650
G1 X24.216 Y17.324 E0.3757
G1 X24.337 Y17.451 E0.3796
G1 X24.589 Y17.772 E0.3887
G1 X24.671 Y17.898 E0.3920
G1 X24.854 Y18.239 E0.4006
G1 X24.916 Y18.383 E0.4041
```

Рис. 7. Фрагмент рабочего файла в формате .gcode

позволяют выставить температуру стола и экструдера под выбранный вид пластика, размеров и формы модели;

- Speeds (Скорость печати) и др.

Далее выбирается профиль принтера, заранее выбранного исходя из размеров и сложности геометрической формы детали. После установки всех необходимых настроек экструдера и параметров печати переходим к самой печати изделия. При переходе к печати все сохраняется в формате .gcode, фрагмент которого отображен на рисунке 7.

На рисунке 7 видны основные стартовые команды запуска обдува детали, охлаждения экструдера и отправление печатающей головки в нулевое положение по всем осям. Далее идут название процесса «Process1» и номер слоя, который будет печататься, в данном случае это слой № 1, толщина которого составляет 0,18 мм. После этого, далее по коду идут команды с координатами для печатающей головки.

На рисунке 8 изображены блок-схемы алгоритмов программы рисования трехмерной модели кнопки для прибора МПИ.



Рис. 8. Блок-схемы алгоритмов рисования трехмерной модели кнопки МПИ

Постобработка готового изделия

Для сглаживания поверхности готового изделия в местах соединения слоев производится, при необходимости, его небольшая обработка с помощью механического (наждачная бумага и скальпель) или химического (растворитель) воздействия. Используем дихлорметан – самый неядовитый галогеналкан.

Способы обработки химическими растворителями: погружение, нанесение кистью, обработка парами и ручная полировка. Используем способ нанесения кистью. После обработки изделия таким способом требуется четыре часа до полного затвердевания его верхнего слоя.

Особенность примененной технологии в том, что готовое изделие после печати требует минимальной обработки. Общий вид готового изделия показан на рисунке 9, а. Дефектов печати нет, слои лежат достаточно ровно и без наплывов. На кнопках с помощью станка ЧПУ гравятся буквы и символы их функционального назначения. Кнопки покрываются лаком (рис. 9, б) [5].

Лицевая часть прибора МПИ с вырезами по периметру для мини-дисплея и кнопок управления и индикации изготовлена по описанной технологии и обработана тем же способом, что и кнопки. Пример представленного краткого описания смоделированной и изготовленной на 3D-принтерах кнопки является отработанной технологией по изготовлению изделий для деталей интерьера, приборов и узлов КТ.



а)

б)

Рис. 9. Фотографии готового изделия

Анализ применения FDM технологии 3D-печати на КТ ПКА

Применение аддитивной FDM технологии 3D-печати при изготовлении, модернизации, доработке и эксплуатации оборудования на КТ РС МКС активно используется с 2015 года.

На КТ модуля СМ в 2015 году были изготовлены тренажерные варианты двух радиоуправляемых макетов переносных газоанализаторов, которые имитируют измерение концентрации окиси углерода (СО), цианистого во-

дорода (HCN) и хлористого водорода (HCL) в зависимости от их места нахождения. Их корпус и кнопки управления были изготовлены с применением технологий 3D-печати.

Один газоанализатор отработал три года и его корпус требовал замены. Анализ показал, что прибор предположительно подвергся механическому воздействию (падение, давление). На втором приборе признаки нарушения целостности отсутствовали. Было принято решение о замене корпусов на обоих приборах с применением другой марки пластика. В настоящее время замечаний к газоанализаторам нет. В рамках очередных работ по дооснащению КТ модулей РС МКС планируется укомплектовать подобными газоанализаторами в тренажерном исполнении все РМО тренажерного комплекса РС МКС.

На КТ модуля СМ в 2017 году при проведении плановых работ обнаружен повышенный люфт крепления клавиши «АСК» прибора ПСС (пульт состояния систем). Клавиша «АСК» предназначена для сброса аварийной сигнализации (световой, звуковой) и часто используемая экипажем. Ввиду отсутствия ремонтного фонда и прекращения выпуска предприятием-изготовителем подобных клавиш, было принято решение изготовить копию клавиши «АСК», используя технологию 3D-печати. Клавиша была заменена. Замечаний по работе ПСС до настоящего времени нет [5].

На учебно-тренировочном макете (УТМ) транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс МС» в 2017 году был изготовлен ГММ крана наддува ВН6 системы обеспечения газового состава (СОГС). Его маховик был изготовлен на 3D-принтере. ВН6 отработал три года. Плановый осмотр выявил начальные признаки нарушения целостности маховика ВН6 (расслоение по горизонтальной плоскости) (рис. 10). Анализ показал, что при изготовлении подобных изделий, которые в процессе эксплуатации подвергаются механическим воздействиям, в настройках печати 3D-принтера необходимо задавать более высокую температуру спекания слоев. Принято решение о замене маховика ВН6. Замечаний по работе ВН6 до настоящего времени нет.

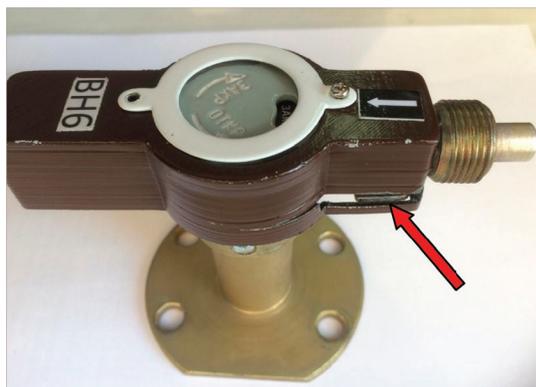


Рис. 10. Нарушение целостности маховика ВН6

Изготовление тренажерного варианта прибора МПИ на КТ МИМ2, описанного выше, проводили в 2017 году. Для МПИ спроектированы и изготовлены новые кнопки управления (с учетом запасного фонда). Результаты разработки, проведенной средствами САПР, проверены путем изготовления опытных образцов. Проверка показала, что тренажерный вариант кнопок управления и индикации прибора МПИ в работе соответствует штатному образцу. Замечаний к работе прибора МПИ до настоящего времени нет.

С учетом полученного опыта использования 3D-моделирования и FDM технологий 3D-печати, в плановых работах на 2019–2020 гг. по модернизации и дооснащению РМО космических тренажеров РС МКС, транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз МС», а также индивидуальных рабочих мест (ИРМ) для проведения практических занятий по космическим экспериментам (КЭ) были изготовлены:

1. Переходник ЦТКФ.733181.010 для макета воздуховода блока размножения интерфейсов (БРИ) КТ служебного модуля (СМ) «Звезда».
2. Кожух ЦТКФ.735416.044 для макета воздуховода БРИ КТ СМ «Звезда».
3. Полухомут ЦТКФ.745533.085 для макета воздуховода БРИ КТ СМ «Звезда».
4. Ручка ЦТКФ.753713.050 для ручек управления объектом (РУО) и ручек управления движением (РУД) тренажеров ТПК «Союз МС»: ТДК и Дон-Союз.
5. Кольцо ЦТКФ.711241.275 для РУО и РУД (для тренажеров ТДК и Дон-Союз).
6. Стакан ЦТКФ.713131.092 для РУО и РУД (для ТДК и Дон-Союз).
7. Стакан ЦТКФ.713131.093 для РУО и РУД (для ТДК и Дон-Союз).
8. Стакан ЦТКФ.713131.094 для РУО и РУД (для ТДК и Дон-Союз).
9. Кнопка ЦТКФ.741124.083 для поручней КТ многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) «Наука».
10. Имитатор адаптера ЦТКФ.791493.022 для ИРМ «Оранжерея» функционально-моделирующего стенда (ФМС) «Наука».
11. Имитатор флеш-карты ЦТКФ.791493.023 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
12. Вставка ЦТКФ.741133.357 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
13. Крышка задняя ЦТКФ.741128.259 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
14. Корпус ЦТКФ.301162.032 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
15. Накладка ЦТКФ.745655.576 – 1 шт. – для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
16. Кожух ЦТКФ.735416.074 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
17. Корпус ЦТКФ.731114.122 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
18. Крышка ЦТКФ.741128.260 для ИРМ «Оранжерея» ФМС «Наука».
19. Сфера ЦТКФ.712570.004 для комфортного вентилятора КТ МЛМ «Наука».

Замечаний к изготовленным изделиям на настоящий момент нет.

Одно из главных достоинств технологии аддитивного производства – снижение расхода материала, который под воздействием лазера плавится, а затем отвердевает, в результате чего отходы производства практически отсутствуют. Готовое изделие не требует дополнительной «подгонки» под заданные параметры. По завершении процесса получается готовое к эксплуатации изделие с минимальной (при необходимости) косметической обработкой. Также к достоинствам технологии аддитивного производства относятся:

- повышение качества изделий. За счет послойного нанесения пластика (без лишних соединительных узлов и элементов) изделие в итоге приобретает более высокую прочность и износостойкость в сравнении с заготовками, полученными с помощью литья или механической обработки материалов;

- быстрое прототипирование изделия и его запуск в производство. Благодаря компьютерному моделированию и быстрой передаче данных – аддитивный проект значительно сокращает временной ресурс;

- изготовление геометрически сложных моделей за короткий срок, при этом отдельные конструкции можно получить только подобным способом;

- безопасность процесса трехмерной печати, что при производстве тестовых образцов не требует дополнительных разрешений от контролирующих органов;

- экономия расходов на логистику. Складские запасы минимальны, т.к. нет необходимости хранить большие материальные ресурсы [9].

Заключение

В связи с изменениями состава МКС, логики работы бортовых систем, появлением новых задач, корректировки требований на подготовку экипажей к космическому полету, развития новых технологий возникает необходимость регулярной модернизации, доработки и обновления аппаратной части на космических тренажерах РС МКС [8].

Применение аддитивных технологий позволяет минимизировать временные и, главное, финансовые затраты при изготовлении изделий для приборов, оборудования и узлов КТ. Критерий «стоимость–эффективность» изделия полностью удовлетворяется. Себестоимость изделий несоизмеримо ниже ранее применяемых способов для их изготовления. Начальные признаки в изменении состояния материала изделия (расслоение, микротрещины, сколы и др.) по мере его эксплуатации проявляются в течение достаточно длительного времени. Это позволяет своевременно обнаруживать признаки нарушения целостности изделий установленных на КТ ПККА и ФМС Центра. Время изготовления нового изделия, на замену вышедшего из строя, сводится к минимуму.

Важным моментом при моделировании и изготовлении изделий является правильный выбор используемого материала (пластика).

Опыт применения аддитивных технологий на КТ РС МКС можно перенести на долговременные орбитальные станции (ДОС). Для проведения экипажами мелкого ремонта 3D-принтеры, имеющие небольшие габаритно-массовые характеристики, предлагается разместить на ДОС на постоянной основе, предварительно предметно изучив работу и поведение аддитивных технологий в невесомой среде пребывания с учетом опыта проведенных экспериментов на МКС.

Для изготовления требуемых изделий экипаж должен иметь комплект программного обеспечения (своеобразный ЗИП – программный продукт вместо металлических запасных частей, инструментов и принадлежностей) или получать его при необходимости по запросам через каналы связи с Землей. Замена вышедшей из строя детали на его пластиковую копию, изготовленную на 3D-принтере, позволит в кратчайшие сроки оперативно устранять последствия НшС, связанные с механическими поломками. Тем самым экипаж выигрывает время до прилета очередного транспортного грузового корабля «Прогресс МС», после чего уже устанавливается привезенный штатный образец.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Этапы разработки и результаты 20-летней эксплуатации тренажерного комплекса модулей РС МКС / Саев В.Н., Шевченко Л.Е., Батраков В.В. // Материалы LIV научных чтений, посвященных разработке творческого наследия К.Э. Циолковского. – Калуга: Изд-во «Эйдос», 2019. – С. 289.
- [2] Комплекс технических средств подготовки космонавтов по программе российского сегмента Международной космической станции: монография / Шевченко Л.Е., Полунина Е.В., Саев В.Н. – Звездный городок, 2017.
- [3] Новичков В.М. Системы отображения информации. Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2005.
- [4] Многофункциональный пульт-индикатор МПИ. Руководство по эксплуатации. ГФКП.467849.001–01РЭ.
- [5] Конвергенция аддитивных технологий и процессов эксплуатации, испытаний и модернизации технических средств подготовки космонавтов / Батраков В.В., Крылов А.И., Нефедов Б.Н., Новичков В.М., Мухина Д.В. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 4(37). – С. 28–41.
- [6] Фленов М. «DirectX в C++ Искусство программирования». – БХВ-Петербург, 2006.
- [7] Кораблев В. «Самоучитель Visual C++.NET». – БХВ-Петербург, 2004.
- [8] Совершенствование системы отображения информации на тренажерном комплексе российского сегмента Международной космической станции для обеспечения автоматического режима «Сближение ТК «Прогресс» с МКС» / Батраков В.В., Брагин В.И., Клюев Ю.А. // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 4(33). – С. 58–69.
- [9] АО «ЛЛС» – разработчик и поставщик лазерно-оптического оборудования. Электронный ресурс: доступ <https://lls-mark.ru/technologies/additivnye-tehnologii/> свободный.

REFERENCES

- [1] Development Stages and Results of a 20-year Operation of the ISS RS Simulator Complex / Saev V.N., Shevchenko L.E., Batrakov V.V. // Proceedings of the LIV Scientific Conference Dedicated to the Development of Scientific Heritage of K.E. Tsiolkovsky. – Kaluga: “Eidos” Publishing House, 2019. – p. 289.
- [2] Complex of Technical Means for Training Cosmonauts Under the Program of the ISS Russian Segment: Monograph / Shevchenko L.E., Polunina E.V., Saev V.N. – Star City, 2017.
- [3] Novichkov V.M. Information Display Systems. Text edition. – Moscow: MAI Publishing House, 2005.
- [4] Multifunctional Indicator Panel-MPI. User’s guide. GFKP.467849.001–01RE.
- [5] Application of Additive Technologies in Improving Instrumental Equipment of Space Simulators / Batrakov V.V., Krylov A.I., Nefedov B.N., Novichkov V.M., Mukhina D.V. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 4(37). – pp. 28–41.
- [6] Flenov M. “DirectX b C++ Programming art”. – BKhV-Peterburg, 2006.
- [7] Korablev V. “Self-teaching guide Visual C++.NET”. – BKhV-Peterburg, 2004.
- [8] Improvement of the Information Display System on the ISS RS Simulation Complex to Ensure the “Approach of “Progress” CTV to the ISS” Automatic Mode / Batrakov V.V., Bragin V.I., Klyuev Yu.A. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2019. – No 4(33). – pp. 58–69.
- [9] JSC “LLS” – Developer and Supplier of Laser-Optical Equipment. Electronic Source: Access <https://lls-mark.ru/technologies/additivnye-tekhnologii/> free.