

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ 20-ЛЕТНЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА МОДУЛЕЙ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

С.П. Супрун, Л.Е. Шевченко

С.П. Супрун; канд. техн. наук Л.Е. Шевченко
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Представленный материал дает целостное представление о тренажерном комплексе (ТК) модулей российского сегмента МКС (РС МКС). В статье рассмотрены назначение и состав ТК РС МКС, основные этапы его разработки, результаты эксплуатации в течение 20 лет, перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: тренажерный комплекс, российский сегмент МКС, разработка, эксплуатация.

Development Stages and Results of the 20-year Operation of the Simulation Complex of the ISS RS's Modules.

S.P. Suprun, L.E. Shevchenko

The presented material gives a holistic notion about the simulation complex (SC) of the ISS Russian Segment's modules (ISS RS). The paper considers the purpose and components of the ISS RS simulation complex, the main stages of its development, the results of operation over 20 years and the prospects for future evolution.

Keywords: simulation complex, ISS Russian Segment, development, operation.

Создание ТК модулей РС МКС началось в 1995 году. К этому времени сформировалась новая технология разработки тренажерных комплексов, сущность которой состояла в следующем [1]:

- изменение последовательности создания компонентов комплекса, порядка интеграции и развития комплекса, включающего в себя ряд тренажеров;
- формирование и изменение конфигурации тренажеров с учетом комплекса одновременно решаемых задач подготовки.

Руководящим этапом проектирования ТК явилась принятая концепция его создания [2], которая во многом определялась стратегией создания орбитального комплекса РС МКС, предусматривающей постепенное наращивание российских орбитальных модулей в течение предстоящих лет. Все это предопределило этапность создания ТК и его дальнейшее развитие. В ходе эксплуатации ТК РС МКС постоянно возникала необходимость в его модернизациях и доработках. Модернизации заключались в замене отдельных

изделий на вновь созданные образцы, внесении изменений и дополнений в действующий комплекс (его составные части) с целью улучшения (расширения) его тактико-технических характеристик и функционала. Доработки были связаны с реализацией мероприятий для поддержания (сохранения) технических характеристик изделия комплекса, определенных ТТЗ (ТЗ). Доработки ТК выполнялись в соответствии с изменениями на штатном изделии для устранения замечаний экипажей и инструкторов, а также в соответствии с необходимостью замены морально и физически устаревшей программно-аппаратной базы основных составных частей тренажеров.

Материал, изложенный в статье, может представлять интерес для специалистов, занимающихся разработкой и эксплуатацией тренажеров, а также для поиска и реализации альтернативных вариантов структур перспективных тренажерных комплексов.

Назначение и состав тренажерного комплекса

ТК модулей РС МКС предназначен для отработки экипажем действий по эксплуатации систем и полезной нагрузки модулей РС МКС, а также по обеспечению безопасности экипажа и живучести станции. На ТК РС МКС проводится подготовка экипажей, включающая следующие задачи:

- изучение экипажем интерьера, конструкции и компоновки модулей, расположения оборудования, приборов, элементов бортовых систем и способов их крепления;
- работа с бортовыми системами и целевыми нагрузками в штатных и расчетных нештатных ситуациях;
- отработка навыков выполнения динамических режимов станции;
- отработка навыков ведения радиообмена и внутренних переговоров;
- подготовка экипажей в штатных, нештатных и аварийных ситуациях (пожар, разгерметизация, токсичность атмосферы);
- обнаружение и локализация нештатных ситуаций;
- приобретение навыков работы с научной аппаратурой и проведение научно-прикладных исследований и экспериментов;
- отработка операций по восполнению ресурсов системы жизнеобеспечения РС МКС;
- отработка навыков выполнения монтажно-демонтажных работ;
- изучение и отработка бортовой документации;
- комплексные тренировки экипажей по выполнению программы полета.

При выработке концепции исходили из особенностей создания и функционирования реального комплекса МКС, в основу устройства которого заложен модульный принцип, предусматривающий постепенное наращивание российского сегмента в течение предстоящих лет. Другой отличительной особенностью МКС является наличие на станции бортового комплекса управления, состоящего из бортовых вычислительных систем, размещенных

на сегментах международных партнеров и образующих единую вычислительную систему. Основная часть бортовых вычислительных средств, в том числе ЦВМ, компьютеры поста оператора, интерфейс экипажа сосредоточены в служебном модуле, где находится большинство бортовых систем, включая систему обеспечения жизнедеятельности, радиотехнический комплекс, систему управления движением и навигации МКС. Поэтому в структуру ТК в качестве основного элемента вошла модель бортовой вычислительной системы (МБВС).

ТК РС МКС в целом и входящие в его состав тренажеры относятся к эргатическим системам управления, которые включают в качестве элементов как технические системы (в нашем случае технические системы ТК), так и людей (оперативный персонал и обучающихся космонавтов), взаимодействующих с этими системами. В связи с этим на всех этапах проектирования, разработки и испытаний тренажеров к ним предъявляются эргономические требования, направленные на создание адекватных информационных моделей, а также безопасность и комфортность работы операторов. Эргономические требования предъявляются [3]: к эргономичности ТК с точки зрения распределения функций между всеми группами операторов, а также между техническими системами и операторами; к информационным моделям деятельности обучаемых и алгоритмам деятельности остальных групп операторов, а также к техническим средствам деятельности операторов.

Функционально-технические характеристики ТК РС МКС формировались в ходе проектирования и разработки с учетом приоритетно развивающихся технологий и ряда технических принципов, которые заключаются в следующем:

- ТК РС МКС разрабатывается на основе математического и натурального моделирования с использованием распределенных систем обработки информации с высокой точностью имитации и объективной оценки действий обучаемых;
- в основу создания ТК РС МКС положены принципы модульного построения унифицированных и специализированных средств тренажерной техники [1], обеспечивающие объединение тренажеров для решения задач подготовки, эффективную модернизацию и развитие комплекса, также существенное уменьшение затрат на разработку;
- на основе анализа летных изделий, задач и предполагаемой операторской деятельности экипажей на борту и задач обучения проводится оптимизация структуры комплекса, которая заключается в создании набора тренажеров, необходимого и достаточного для подготовки космонавтов к решению полетных задач на борту модулей РС МКС;
- определяется специализация тренажеров по принадлежности к летному изделию, комплексу выполняемых задач на борту, комплексу задач подготовки;

• обеспечивается информационная связанность интерфейсов тренажерных сегментов партнеров, унификация языка и алгоритмов программного обеспечения и форм представления информации на тренажерах различных партнеров для возможности проведения совместных тренировок.

В состав ТК РС МКС входят следующие системы (рис. 1):

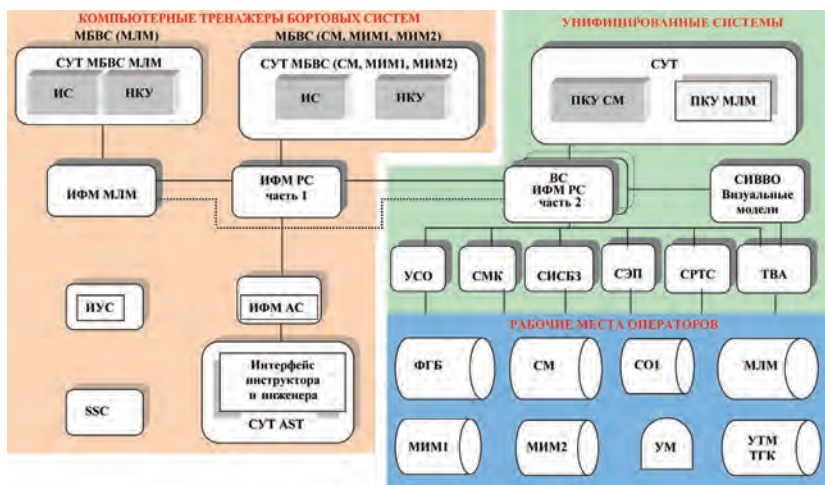


Рис. 1. Структура тренажерного комплекса РС МКС

1) унифицированные системы (выделены зеленым цветом):

- вычислительная система (ВС);
- устройство согласования и обмена данными (УСО);
- система имитации внешней визуальной обстановки (СИВВО);
- система управления тренировками (СУТ);
- система медицинского контроля (СМК);
- система имитации связи «Борт–Земля» (СИСБЗ);
- система электропитания (СЭП);
- система ремонтно-технологической связи (СРТС);
- телевизионная аппаратура (ТВА);

2) специализированные системы – полномасштабные макеты российских модулей, которые являются рабочими местами операторов (РМО) (выделены синим цветом):

- РМО СМ служебного модуля «Звезда»;
- РМО ФГБ функционально-грузового блока «Заря»;
- РМО СО1 стыковочного модуля «Пирс»;
- РМО МИМ1 малого исследовательского модуля № 1 «Рассвет»;
- РМО МИМ2 малого исследовательского модуля № 2 «Поиск»;
- РМО МЛМ многофункционального лабораторного модуля «Наука»;
- РМО УМ узлового модуля «Причал»;
- учебно-тренировочный макет ТГК «Прогресс» – УТМ ТГК.

3) компьютерные тренажеры бортовых систем (выделены бежевым цветом):

- тренажер МБВС СМ (3 комплекта);
- имитатор американского сегмента АСТ;
- тренажер МБВС МЛМ (2 комплекта);
- МБВС модулей МИМ1 и МИМ2, интерфейсы которых совмещены с интерфейсом МБВС СМ;
- тренажер информационно-управляющей системы (ИУС);
- тренажер системы поддержки экипажа (SSC).

4) сетевые средства, объединяющие вышеперечисленные системы в тренажерный комплекс.

Компьютерные тренажеры бортовых систем (МБВС, ИУС, SSC, АСТ) помимо работы в составе ТК также могут использоваться автономно в учебных классах для предварительной предтренажерной подготовки. Они включают в себя все необходимые компоненты для обучения операторов: тренажерную модель процесса, программно-аппаратную платформу для моделирования, необходимые рабочие места и пользовательские интерфейсы оператора и инструктора.

Информационная модель (ИФМ) РС разделена на части и реализуется посредством МБВС (СМ, МИМ1, МИМ2), МБВС (МЛМ) и ВС.

Функциональные возможности тренажерного комплекса

Все системы ТК, а также тренажеры МБВС СМ, МБВС МЛМ и имитатор американского сегмента АСТ разработаны на базе вычислительной техники. На время тренировки системы комплекса объединяются в единую вычислительную сеть. В процессе тренировки управление системами ТК ведется централизованно с ПКУ СМ и (или) с ПКУ МЛМ, а АСТ, МБВС СМ, МБВС МЛМ, МБВС МИМ1 и МБВС МИМ2 – с использованием собственных средств управления.

Структура ТК позволяет осуществлять гибкое конфигурирование программных и аппаратных средств комплекса для задач подготовки. В ТК используются многопользовательские режимы, обеспечивающие автономную параллельную или одновременную работу различных тренажеров, входящих в его состав. Тренировки и практические занятия могут проводиться в 16 различных конфигурациях программных и аппаратных средств тренажера. Благодаря этому в ТК одновременно можно выполнять:

- тренировку на комплексе (в выбранной конфигурации), автономную тренировку на тренажере МЛМ и два практических занятия на МБВС СМ и МБВС МЛМ;
- тренировку на комплексе (в полной конфигурации) и два практических занятия: на МБВС СМ и МБВС МЛМ, или одно практическое занятие на МБВС СМ совместно с МБВС МЛМ;

- до шести практических занятий по конструкции и компоновке, бортовым системам и полезной нагрузке.

Экзаменационные тренировки проводятся в полной конфигурации ТК по программе типовых полетных суток, таким образом имитируя работу орбитального комплекса МКС в целом. Контроль и управление тренировками осуществляется на основе групповой деятельности оперативного персонала (численностью 20–25 человек), в состав которого входят инструкторы экипажа, специалисты по подготовке космонавтов, инженеры и врачи.

Кроме перечисленных выше задач в соответствии со специализацией модулей на тренажерах обеспечивается решение ряда соответствующих задач подготовки.

В модуле СМ находятся основные вычислительные средства и системы, обеспечивающие управление бортовыми системами и полезной нагрузкой модулей РС МКС и МКС в целом и взаимодействие с Центрами управления полетами (ЦУП-М, ЦУП-Х) и центральным компьютером американского сегмента. Поэтому, в дополнение к общим задачам, на тренажере СМ отрабатываются навыки выполнения мультисегментных операций (совокупность взаимосвязанных операций, выполняемых экипажами на российском и американском сегментах или на одном из сегментов с дистанционным изменением режимов работы бортовых систем другого сегмента).

На тренажере ФГБ акцент сделан на тренировки по размещению грузов и проведению их инвентаризации.

На тренажере СО1 проводится подготовка космонавтов по выполнению операций выхода в открытый космос, включая операции, выполняемые в день выхода: подготовку скафандра к использованию, управление комплексом средств шлюзования модуля СО1 в соответствии с требуемыми циклограммами работ. Аналогичное назначение у тренажера МИМ2.

Основным целевым назначением тренажеров МИМ1 и МЛМ является отработка навыков подготовки и проведения космических экспериментов: монтаж, подключение аппаратуры к бортовым системам модулей, проведение экспериментов, экспресс-обработка результатов исследований и их передача на Землю.

Учебно-тренировочный макет (УТМ) ТГК «Прогресс» обеспечивает подготовку космонавтов к выполнению разгрузочных работ с использованием системы инвентаризации, отработку проведения операций по восполнению ресурсов системы жизнеобеспечения РС МКС.

Этапы разработки тренажерного комплекса

Разработка ТК РС МКС происходила в два этапа (табл. 1). На первом этапе создавалась базовая структура, на втором этапе происходило развитие структуры ТК по мере развертывания станции.

Таблица 1

Этапы разработки ТК РС МКС

| № п/п | Наименование этапа | Срок выполн. |
|----------|--|--------------|
| 1 | Разработка базовой структуры ТК РС МКС | |
| 1.1 | Разработка унифицированных элементов ТК и разработка тренажеров СМ и ФГБ | 1998 г. |
| 1.2 | Разработка МБВС СМ | 1999 г. |
| 1.3 | Разработка АСТ (разработка американских партнеров) | 1999 г. |
| 1.4 | Интеграция МБВС СМ в ТК | 2000 г. |
| 1.5 | Интеграция МБВС СМ с АСТ | 2000 г. |
| 2 | Развитие структуры ТК РС МКС (модернизация) | |
| 2.1 | Разработка тренажера SSC | 2000 г. |
| 2.2 | Разработка и интеграция 2-го комплекта МБВС СМ | 2001 г. |
| 2.3 | Разработка и интеграция тренажера СО1 в ТК | 2007 г. |
| 2.4 | Разработка тренажера ИУС | 2007 г. |
| 2.5 | Разработка УТМ ТГК «Прогресс» | 2013 г. |
| 2.6 | Разработка и интеграция тренажеров МИМ1 и МИМ2 в ТК | 2013 г. |
| 2.7 | Разработка и интеграция тренажера УМ в ТК | 2013 г. |
| 2.8 | Разработка и интеграция тренажера МЛМ в ТК | 2014 г. |
| 2.9 | Разработка и интеграция МБВС МЛМ (2 комплекта) | 2014 г. |
| 2.10 | Разработка и интеграция МБВС тренажеров МИМ1 и МИМ2 | 2018 г. |

На первом этапе параллельно разными группами разработчиков создавались моделирующие комплексы: тренажерный комплекс, модели бортовых вычислительных систем модулей, имитатор американского сегмента и проводилась их интеграция [4]. Основная концепция технологии разработки базовой структуры заключалась в выделении и унификации идентичных для всех тренажеров элементов, построении унифицированных элементов в виде типовых модулей и средств сопряжения между ними, разрабатываемых как открытые системы, которые в последующем наполнялись специализированными элементами и системами. К моменту ввода в эксплуатацию (август 1998 года) в инфраструктуру ТК были включены макеты СМ и ФГБ вместе с УСО. Ввиду отсутствия на тот момент времени достаточной информации об объекте моделирования (логике функционирования бортовых систем СМ и ФГБ), в ТК были включены только математические модели автономных систем жизнеобеспечения (их интерфейс и форматы ПКУ), блоков и ручных органов управления бортовыми системами, установленных в РМО. С этого момента на ТК начались практические занятия по конструкции и компоновке модулей и эксплуатации автономных систем жизнеобеспечения.

В августе 1999 года был разработан и в автономном варианте начал эксплуатироваться первый комплект МБВС. На нем проводились занятия по изучению интерфейса экипажа с БВС, контролю и управлению бортовыми

системам СМ со стороны БВС. В том же году американскими партнерами был разработан имитатор американского сегмента АСТ.

В 2000 году проведена интеграция МБВС с ТК (апрель 2000 г.) и АСТ (июль 2000 г.). Были окончательно распределены моделирующие функции между комплексами, согласованы протоколы информационного взаимодействия и сформирована базовая структура ТК, что обеспечило подготовку космонавтов к полету на РС МКС в полном объеме.

На втором этапе базовая структура ТК, оставаясь концептуально неизменной, дополнялась:

- макетами новых орбитальных модулей вместе с устройствами сопряжения;
- МБВС – вычислительными средствами, на которых реализуются информационные модели вновь выводимых на орбиту модулей;
- ИФМ РС часть 1 и ИФМ РС часть 2 – математическими моделями БС новых орбитальных модулей;
- СУТ – интерфейсами новых моделей и моделью ЦУПа в части их управления.

На протяжении всего периода существования ТК проводились доработки ТК РС МКС с целью улучшения (расширения) его тактико-технических характеристик. Основные доработки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Доработки ТК РС МКС

| № п/п | Наименование доработок | Срок выполн. |
|-------|---|--------------------|
| 1 | Доработка УСО – переход на более производительный процессорный модуль. Разработка УСО тренажеров МИМ1, МИМ2, УМ на новой аппаратной платформе | 2000 г. 2013 г. |
| 2 | Разработка и введение модели ТОРУ сближения ТК с МКС | 2003 г. |
| 3 | Разработка и введение в МБВС СМ модели СО1 | 2004 г. |
| 4 | Разработка и введение режима записи и восстановления контрольных точек | 2004 г. |
| 5 | Разработка модели пульта ATV. Введение в МБВС СМ модели ATV, модели ЦУП ATV, модели автоматического режима сближения ATV с МКС | 2005 г. |
| 6 | Разработка ПКУ МЛМ | 2012 г. |
| 7 | Доработка МБВС СМ (разработка 3 комплектов МБВС на новой аппаратной платформе) | 2013 г. |
| 8 | Доработка ВС – доработка структуры и переход на новую аппаратно-программную платформу | 2003 г. 2012 г. |
| 9 | Доработки СОИ ПКУ под задачи тренажеров СО1, МЛМ, МИМ1, МИМ2 | 2007– 2014 гг. |
| 10 | Доработка ПКУ КТ РС МКС на основе новой аппаратной платформы | 2016 г. |
| 11 | Многочисленные доработки версий МБВС. Последняя по времени доработка (установка версии 8.10) | 2017 г. |
| 12 | Доработка СИВО – доработки моделей, переход на новую аппаратно-программную платформу | 2018 г. |
| 13 | Доработки СИВБЗ – доработка пультов абонентов ВСБ-95 в соответствии с разработкой тренажеров СО1, МЛМ, МИМ1, МИМ2 | 2018 г. |
| 14 | Разработка и внедрение в состав ПКУ СОИ «Мозаика» | 2018 г. |

Надо отметить, что структура ТК позволяла осуществлять его модернизацию (интеграцию новых тренажеров в состав ТК, наращивание программных и аппаратных средств отдельных систем комплекса по мере развертывания МКС) и многочисленные доработки ТК, не затрагивая остальные части комплекса и не прерывая тренировки.

Дальнейшее развитие ТК РС МКС планируется проводить:

- в соответствии с Планом развития технических средств подготовки космонавтов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» на 2019–2021 годы, предусматривающим модернизацию тренажеров модулей и тренажерных систем в части расширения их функциональных возможностей, по замечаниям экипажей, инструкторов и изменениям на штатном изделии;
- в соответствии с Федеральной космической программой России на 2016–2025 годы [5], предполагающей продление эксплуатации МКС до 2024 года и оснащение РС МКС модулями, которые уже находятся в производстве (МЛМ, УМ, НЭМ), дополнив их системами, обеспечивающими автономность полета после 2024 года, для обеспечения возможности создания российской орбитальной станции.

Результаты эксплуатации тренажерного комплекса

Эксплуатация изделия согласно ГОСТу [6] включает в себя такие виды работ, как использование по назначению, транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт. В связи со спецификой создания ТК РС МКС в период его эксплуатации выполнялся ряд работ в дополнение к указанным, которые являются самостоятельным объектом планирования, и с различной частотой повторяются на этом этапе:

- доработки ТК в соответствии с созданием и интеграцией в его состав тренажеров новых модулей;
- модернизации ТК в связи с заменой или обновлением элементной базы тренажерных систем;
- различные виды испытаний ТК, сопровождающие доработки и модернизации комплекса;
- методические сборы для отработки методик подготовки космонавтов и обучения новых специалистов.

На диаграмме (рис. 2) показано соотношение основных видов работ, выполняемых на ТК РС МКС, по результатам эксплуатации 2018 года.

Проведение тренировок и практических занятий является основным видом работ при эксплуатации тренажерного комплекса и составляет в среднем 60 %.

Основное внимание на тренировках уделяется отработке навыков выполнения динамических станционных режимов, обнаружения и локализации нештатных ситуаций, приобретению навыков работы с научной аппаратурой и проведения экспериментов.



Рис. 2. Соотношение основных видов работ на тренажерном комплексе РС МКС

Практические занятия по конструкции и компоновке модулей, а также по работе с научной аппаратурой, по подготовке и выполнению космических экспериментов проводятся под руководством специалистов по подготовке космонавтов, которые во время занятия находятся рядом с обучаемыми в РМО (рис. 3).

Тренировки, в том числе зачетные и экзаменационные, по комплексному управлению бортовыми системами и работе с полезной нагрузкой, выполнению типовых полетных операций и режимов полета, а также по действиям в аварийных и нештатных ситуациях на МКС (разгерметизация, пожар, токсичность атмосферы) предполагают самостоятельную работу экипажа по разработанному инструктором плану. В процессе тренировки экипаж находится в РМО (рис. 4), инструктор контролирует действия космонавтов на ПКУ, переговоры ведутся в сеансах связи и по технологической связи.

На диаграмме (рис. 5) показано количество тренировок (не считая практические занятия), проведенных на ТК в период с 1999 года по 2018 год включительно.



Рис. 3. Практическое занятие по выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов



Рис. 4. Тренировка по отработке действий экипажа в нештатной ситуации

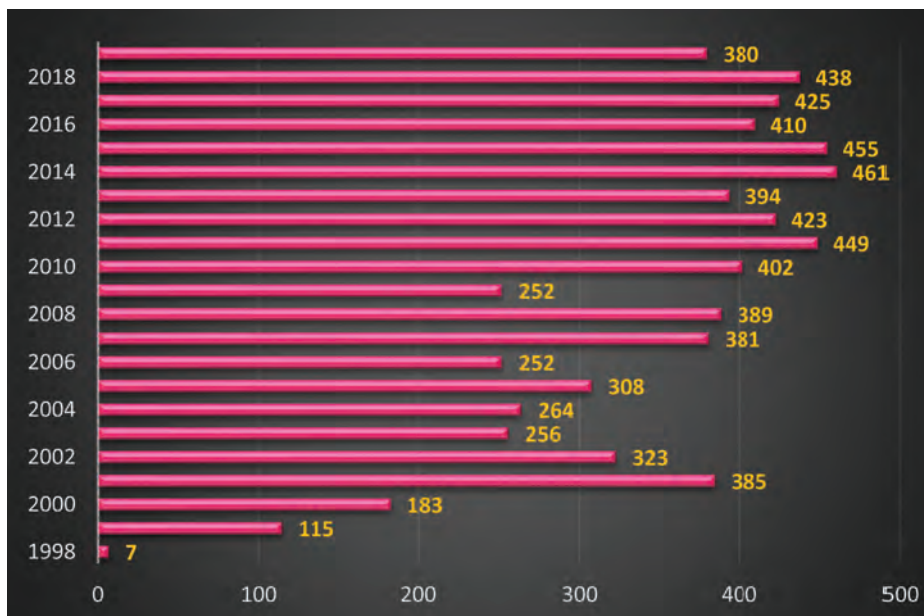


Рис. 5. Количество тренировок за период эксплуатации ТК РС МКС

Кроме практических занятий и тренировок на ТК проводятся методические сборы (в среднем составляют 8 % от времени эксплуатации) для отработки методик подготовки космонавтов, обучения новых специалистов и совершенствования знаний/умений специалистов по обеспечению работоспособности аппаратно-программных средств тренажерного комплекса.

Доработки и модернизации на этапе эксплуатации составляют приблизительно 23 %. Все виды доработок и модернизаций сопровождались разработкой технической документации и последующими испытаниями доработанных и модернизированных систем.

С 1998 года за 20 лет эксплуатации на ТК РС МКС проведено более 7000 тренировок, не считая практические занятия по бортовым системам ТК и научной аппаратуре. Благодаря этому подготовлена и реализована 61 космическая экспедиция. 236 космонавтов и астронавтов выполнили большой объем научно-прикладных исследований и экспериментов, осуществлено 19 экспедиций посещения.

Выводы

Концепция создания ТК модулей РС МКС и технология его разработки, основанные на новейших научно-технических разработках, а также с учетом стратегии развития программы МКС predetermined этапность создания тренажерного комплекса – разработку базовой структуры и затем ее последующие модернизации и доработки. Структура ТК позволила осуществлять

модернизации (интеграцию новых тренажеров в состав ТК, наращивание программных и аппаратных средств систем комплекса) и многочисленные доработки ТК, не затрагивая остальные части комплекса и не прерывая тренировки.

Опыт эксплуатации ТК модулей РС МКС подтвердил правильность выбранной концепции его разработки, которая обеспечила создание уникального высокотехнологичного средства подготовки космонавтов к работе на борту РС МКС. В ТК модулей РС МКС осуществляется гибкое конфигурирование программных и аппаратных средств, благодаря чему обеспечиваются многопользовательские режимы для проведения автономной или совместной работы различных тренажеров, входящих в состав ТК, с учетом комплекса одновременно решаемых задач подготовки.

Высокие функциональные возможности ТК модулей РС МКС обеспечили решение всех основных задач подготовки к выполнению космических программ, о чем свидетельствуют результаты выполненных космических полетов.

Накоплен большой опыт как у разработчиков тренажеров и систем, так и у оперативного персонала по вопросам создания, доработок и модернизаций тренажерного комплекса модулей РС МКС, который может быть использован при создании перспективных тренажеров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / Шукшунов В.Е., Циблиев В.В., Потоцкий С.И. и др. Под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [2] Комплекс технических средств подготовки космонавтов по программе российского сегмента Международной космической станции / Шевченко Л.Е., Полунина Е.В., Саев В.Н. – Звездный городок, 2017. – 114 с.
- [3] Эргономические принципы разработки тренажеров орбитальных модулей российского сегмента МКС / Виноградов Ю.А., Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. – 2017. – № 4(85). – С. 40–44.
- [4] Полунина Е.В., Шевченко Л.Е. Развитие комплекса тренажеров орбитальных модулей российского сегмента МКС // Пилотируемые полеты в космос. – 2015. – № 2. – С. 26–35.
- [5] Федеральная космическая программа России на 2016–2025 годы (утверждена постановлением Правительства РФ от 23 марта 2016 г. № Пр-230).
- [6] ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 7 с.

REFERENCES

- [1] Training Facilities and Simulators. Technology Development and Operational Experience / Shukshunov V.E., Tsibliyev V.V., Pototskiy S.I. Edited by Shukshunov V.E. – Moscow: Mashinostroenie, 2005. – p. 384

-
- [2] Technical means for training cosmonauts under the ISS RS program / Shevchenko L.E., Polunina E.V., Saev V.N. – Star City, 2017. – p. 114.
- [3] Ergonomic principles for the development of simulators for the ISS RS orbital modules / Vinogradov Yu.A., Polunina E.V., Shevchenko L.E. // Human factor: problems of psychology and ergonomics. – 2017. – No 4(85) – pp. 40–44.
- [4] Polunina E.V., Shevchenko L.E. Development of the simulator complex of orbital modules of the ISS Russian Segment // Scientific journal “Manned Spaceflight”. – 2015. – No 2. – pp. 26–35.
- [5] The Russian Federal Space Program for the period 2016–2025 (approved by the Russian Federation Government Decree of March 23, 2016. No 230).
- [6] GOST 25866-83 (All-Union State Standard). Operation of equipment. Terms and definitions. – Moscow: Izdatelstvo Standartov, 1983. – p. 7.