

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.786.2

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСЕГМЕНТНОЙ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ НА БОРТУ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Т.В. Данюк, Т.А. Копа, А.А. Курицын

Т.В. Данюк; Т.А. Копа; докт. техн. наук, доц. А.А. Курицын
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Поддержание атмосферы космической станции с параметрами, близкими к земным, служит залогом возможности экипажа жить и работать в космосе. Любое относительно небольшое изменение характеристик атмосферы может угрожать жизни экипажа и требует незамедлительного реагирования на возникшую ситуацию. Особенностью подготовки экипажей Международной космической станции (МКС) к действиям в условиях разгерметизации является необходимость привития им навыков совместного использования аварийных средств партнеров и методов определения негерметичных отсеков станции или транспортного корабля.

Ключевые слова: Международная космическая станция, экипаж, аварийная ситуация, подготовка космонавтов, деятельность при разгерметизации, резервное время, комплексные тренажеры

Development of Multi-Segment Cosmonaut Training Technology for Activity during Depressurization aboard the International Space Station. T.V. Danyuk, T.A. Kopa, A.A. Kuritsyn

Maintaining the earth-like atmosphere aboard the space station provides for the possibility to live and work at space. Any relatively little change in atmosphere characteristics can threaten life and health of crew members and requires prompt response to the emergency situation. The feature of training crews for operation under loss of pressure conditions is the necessity to develop skills in joint use of partner emergency equipment and methods of identifying locations of depressurization on the station or transport vehicle.

Keywords: International Space Station, crew, emergency situation, cosmonaut training, operation at depressurization, reserved time-slot, complex simulator

Обеспечение безопасности экипажа, жизнеспособности пилотируемых космических аппаратов и полноты достижения цели его полета в условиях возникновения аварийных ситуаций является одной из основных задач процессов управления полетом и подготовки к полету.

Наличие на МКС двух сегментов, при этом подготовка экипажей МКС проводится на базах партнеров, потребовало применения новой формы подготовки экипажей – многосегментной подготовки. Основной частью многосегментной подготовки является проведение подготовки экипажей МКС к действиям в аварийных ситуациях. В данной статье рассматривается разработанная специалистами ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК) совместно с международными партнерами технология подготовки космонавтов к деятельности на борту МКС при возникновении разгерметизации и использованию ими методов поиска места негерметичности (негерметичного отсека).

К аварийным ситуациям на борту МКС относятся нештатные ситуации, связанные с угрозой для жизни экипажа, потерей станции и требующие немедленного реагирования всех членов экипажа [1, 2].

Для МКС рассматриваются три вида аварийных ситуаций [3]:

- разгерметизация (нарушение герметичности корпуса);
- пожар в отсеках;
- утечка токсичных веществ в отсеках.

Перечисленные ситуации принадлежат к классу критических ситуаций и должны устраняться экипажем незамедлительно, сразу же после их проявления.

Наиболее сложной ситуацией (в части вариантов деятельности космонавтов при поиске негерметичного отсека) является разгерметизация станции. Разгерметизация на МКС может произойти по следующим причинам:

- повреждение систем, клапанов, связанных с вакуумом;
- столкновение с техногенными частицами, летающими в космосе (космический мусор);
- пробой корпуса метеорным телом;
- столкновение с космическими аппаратами при их маневрировании вблизи МКС (например, при стыковке или расстыковке);
- усталость конструкции;
- коррозия материалов.

Стратегия действий экипажа МКС при разгерметизации

Данная стратегия была сформирована до начала осуществления пилотируемых полетов на МКС. При ее разработке использовался опыт полетов экипажей на борту ОК «Мир», в разработке стратегии принимали участие вместе с зарубежными партнерами представители разработчика космической техники, специалисты ЦПК и члены первых экипажей МКС.

МКС состоит из отдельных модулей, образующих российский (РС) и американский (АС) сегменты. В настоящее время в состав РС МКС входят пять модулей, до двух транспортных и двух грузовых кораблей, в состав АС МКС – девять модулей, до двух транспортных или грузовых кораблей. Модули станции состоят из отдельных отсеков, каждый из которых может быть отсечен от смежного закрытием соответствующих люков (рис. 1). Общий объем гермоотсеков МКС, формирующих атмосферу станции, определяется составом модулей и пристыкованных кораблей. Для конфигурации МКС, существующей в настоящее время и представленной на рис. 1 в виде схемы с указанием аббревиатур модулей, отсеков и люков, объем гермоотсеков МКС составляет $\sim 895 \text{ м}^3$, в том числе объем гермоотсеков РС МКС $\sim 280 \text{ м}^3$.

Модули МКС, представленные на рис. 1: СМ – служебный модуль «Звезда», МИМ1 – малый исследовательский модуль «Рассвет», МИМ2 – малый исследовательский модуль «Поиск», МЛМ – многофункциональный лабораторный модуль «Наука», УМ – узловой модуль, ФГБ – функционально-грузовой блок «Заря», Node1 – узловой модуль «Unity», Node2 – узловой модуль «Harmony», Node3 – модуль «Tranquility», LAB – лабораторный модуль «Destiny», COL – лабораторный модуль «Columbus», JPM – японский герметичный модуль «Kibo», JLP – японский грузовой модуль, РММ – постоянный многоцелевой модуль, Cupola – обзорный модуль «Cupola», А/Л – шлюзовой отсек «Quest», ВЕАМ – надувной модуль.

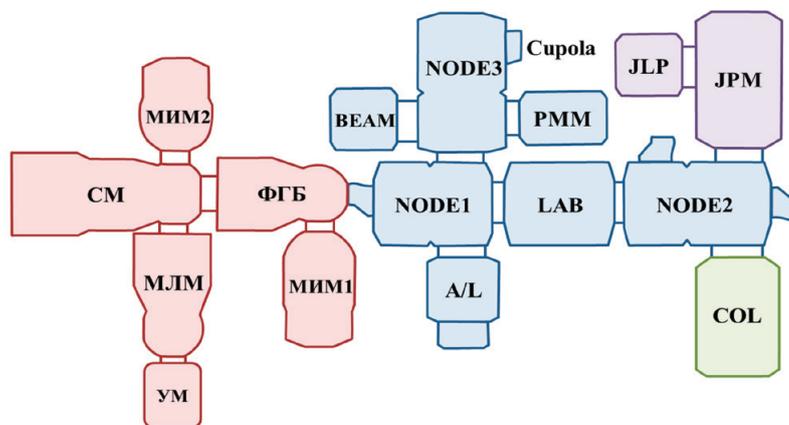


Рис. 1. Конфигурация МКС

Рассматриваемая в статье аварийная ситуация представляет собой прямую угрозу жизни космонавтов. Умение космонавтов своевременно и самостоятельно реагировать на аварийную сигнализацию, а также правильно истолковывать собственные ощущения, достигаются специальной подготовкой и тренировками. Основой для этого служит бортовая документация, определяющая порядок действий экипажа МКС при парировании аварийных ситуаций [4].

Бортовая инструкция (б/и) Emergency, предназначенная для деятельности экипажа на борту МКС при аварии, содержит:

- процедуры по действиям экипажа при разгерметизации;
- схемы люков МКС;
- номограммы для расчета резервного времени;
- процедуру изоляции транспортного грузового корабля (ТГК) «Прогресс»;
- процедуру подготовки пилотируемых кораблей к беспилотной стыковке.

На МКС различают три вида разгерметизации в зависимости от скорости падения давления:

- медленная утечка – $\Delta P/\Delta T < 0,4$ мм рт. ст./мин;
- быстрая утечка – $0,4 \leq \Delta P/\Delta T < 0,87$ мм рт. ст./мин;
- быстрая разгерметизация – $\Delta P/\Delta T \geq 0,87$ мм рт. ст./мин,

где $\Delta P/\Delta T$ – скорость изменения давления атмосферы на МКС, мм рт. ст./мин.

При разгерметизации, вплоть до устранения негерметичности, экипаж должен быть обучен поиску и изоляции негерметичного отсека при падающем давлении атмосферы. При проверке герметичности сегмента (модуля, отсека) МКС экипаж должен находиться в объединенном (общем) объеме с кораблем-спасателем. Критерием исчерпания времени и, соответственно, прекращения работ по устранению разгерметизации, служит момент достижения нижней границы допустимого давления атмосферы. Таким образом, резервное время ($T_{рез}$), которым располагает экипаж на поиск и изоляцию негерметичного отсека – это время падения давления в измеряемом объеме станции от текущего давления до минимально допустимого, которое равно 490 мм рт. ст. Принято условие, что при достижении $T_{рез} = 10$ мин экипаж должен уйти в ту часть МКС, где подтверждена герметичность и есть доступ к кораблю-спасателю, и при изоляции этой части давление в ней будет стабильно.

Резервное время $T_{рез}$ рассчитывается по формуле [3]:

$$T_{рез} = P_{текущ} \times 1/(\Delta P/\Delta T) \times Ln(P_{текущ}/P_{мин}),$$

где $T_{рез}$ – резервное время, мин;

$P_{текущ}$ – текущее значение полного давления на МКС, мм рт. ст.;

$P_{мин}$ – минимально допустимое давление атмосферы МКС для деятельности космонавтов равно 490 мм рт. ст.

Основной способ определения резервного времени экипажем осуществляется с помощью мановакуумметра (МВ) и специальных номограмм (рис. 2), приведенных в б/и. Для этого необходимо:

- рассчитать темп падения давления на 1 мм рт. ст. (в сек)

$$t_{1мм} = \Delta T/\Delta P;$$

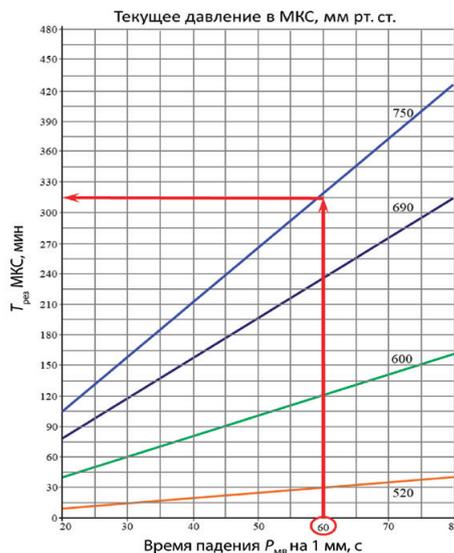


Рис. 2. Пример определения резервного времени по номограммам

- в б/и Emergecy выбрать нужную номограмму, исходя из рассчитанного t_{1MM} ;
- на временной шкале отложить t_{1MM} (в сек);
- провести перпендикуляр от временной шкалы вверх к диагональному графику, соответствующему текущему давлению по МВ;
- провести горизонтальную линию и в левой части номограммы будет представлено резервное время (в мин).

Например, при $t_{1MM} = 60$ сек и $P_{MB} = 747$ мм рт. ст., $T_{рез} = 315$ мин.

Расчет зависимости резервного времени ($T_{рез}$) от темпа падения давления t_{1MM} в диапазоне от 5 до 390 сек при начальном давлении $P = 730$ мм рт. ст. показан на графике (рис. 3).

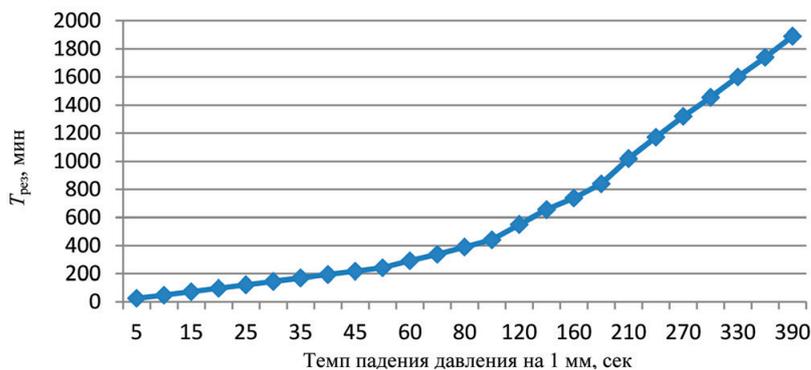


Рис. 3. Зависимость резервного времени от темпа падения давления (при начальном давлении $P = 730$ мм рт. ст.)

Негерметичный отсек на МКС может вручную экипажем за счет поочередного отсечения отсеков или модулей станции. быть найден двумя способами:

- автоматически с использованием измерителей потока, установленных на обрезах люков;
- вручную экипажем за счет поочередного отсечения отсеков или модулей станции.

Оба способа требуют подготовки членов экипажа. Наиболее сложным является второй способ с учетом конфигурации МКС (см. рис. 1). В зависимости от места негерметичности возможны различные варианты деятельности и взаимодействия членов экипажа.

Для поиска и изоляции негерметичного отсека на МКС специалистами разработан метод поочередного закрытия переходных люков станции и последующей выдержкой отсеков (сегментов) в изолированном состоянии. Составной частью метода является также контроль максимальной продолжительности плотного прикрытия/закрытия люков, которое ограничено половиной времени падения общего давления МКС на 1 мм рт. ст.

При отработке данного метода экипаж должен усвоить три основных принципа:

1. Люк всегда стремится в сторону наименьшего давления, поэтому по реакции люка можно определить с какой стороны от него утечка.
2. Экипаж при работе с люком всегда должен находиться со стороны своего корабля-спасателя.
3. Вне зависимости от результатов проверки метод заканчивается открытием люка.

Для отработки метода необходимо два члена экипажа, мановакуумметр (рис. 4) и секундомер.

Также экипаж должен быть обучен использованию метода кратковременного прижатия люка *Tap Technique*, который состоит из двух частей:



Рис. 4. Мановакуумметр

1. Прикрытие люка.

Один член экипажа проводит расфиксацию люка и плотно прижимает люк к уплотнению. Второй член экипажа в это время контролирует изменение давления по МВ и продолжительность прикрытого состояния люка по секундомеру.

Если сразу не понятно в какую сторону «пойдет» люк, необходимо удерживать люк в прижатом состоянии 5 с.

2. Закрытие люка.

Используется в следующих случаях:

- если первая часть путем кратковременного прижатия люка не позволяет экипажу определить с какой стороны от люка происходит утечка;
- конструкция люка не позволяет использовать первую часть метода кратковременного прижатия (люки с червячным механизмом).

Один член экипажа закрывает люк. Второй член экипажа контролирует изменение давления по МВ и продолжительность закрытого состояния люка по секундомеру. Экипаж должен открыть люк по истечении половины времени падения давления на 1 мм рт. ст. ($t_{1\text{мм}}/2$) либо при падении давления на 2 мм рт. ст. в зависимости от того, что наступит раньше.

Для исследования стратегии действий экипажа МКС при разгерметизации последовательность действий экипажа можно представить в виде сетевого графа $G(V, t)$ (рис. 5).

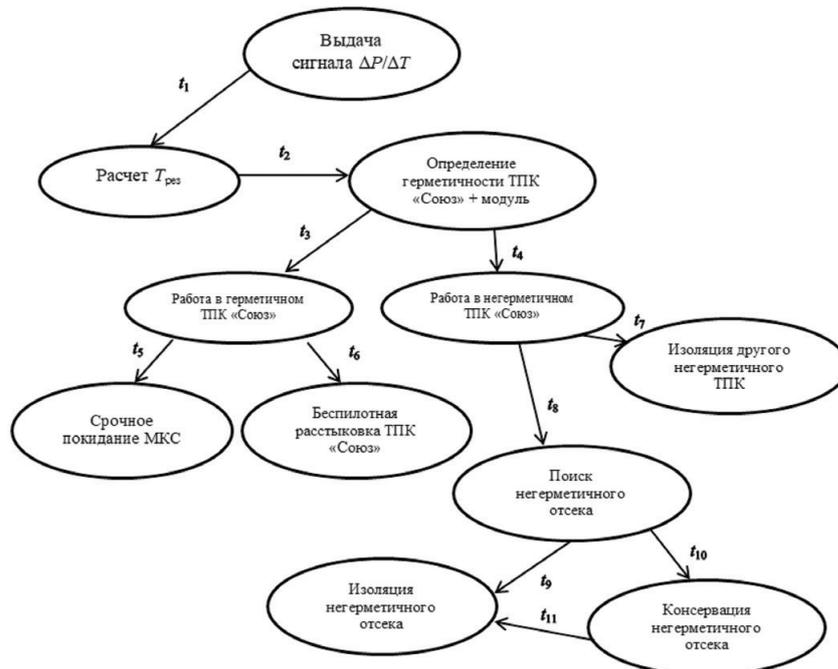


Рис. 5. Общая стратегия действий экипажа одного из кораблей-спасателей при разгерметизации на МКС

В сетевом графе $G(V, t)$ V – множество вершин графа, обозначающие действия экипажа, t – множество ребер, обозначающие время на выполнение действия. При анализе графа методом решения основных задач теории сетевого планирования и управления возможно определить ранние сроки выполнения событий и поздние сроки наступления событий, резервы времени событий, а также критические пути (события с нулевым резервом времени). Представленный граф можно расширить процессами изоляции модулей РС, где на каждом этапе будут присутствовать альтернативные ветви – изоляция с консервацией модуля и без консервации.

На каждом этапе выполнения действий экипажа должны выполняться условия:

$$t_{1...11} < T_{рез} \ \& \ T_{рез} > 10 \text{ мин.}$$

Если негерметичен АС, то поиск негерметичного отсека выполняется экипажем также путем последовательной проверки объемов. Определение с какой стороны от люка находится негерметичный объем на АС МКС выполняется с использованием индикатора негерметичности HDI, который устанавливается на жесткий внутренний край люка (рис. 6). Центральная нейлоновая часть в центре HDI смещается в сторону воздушного потока/изменения давления, указывая этим с какой стороны негерметичность. Если состояние HDI на люке не позволяет сделать вывод о том, с какой стороны утечка, переходят к закрытию люка. После закрытия люк должен быть открыт, если давление по МВ упало на 2 мм рт. ст. или истекло время контроля, равное $t_{1мм} * 2$.



Рис. 6. Индикатор негерметичности HDI

Технология подготовки экипажей МКС к действиям при разгерметизации

По результатам взаимодействия представителей ЦПК и НАСА к настоящему времени разработана технология подготовки космонавтов к действиям в аварийных ситуациях с использованием технических средств подготовки космонавтов.

Основной целью подготовки экипажей к действиям при разгерметизации на борту МКС является формирование у экипажа станции итогового уровня подготовленности, требуемого для обеспечения безопасности экипажа, сохранения работоспособности станции и выполнения программы полета, то есть, получения совокупности знаний, навыков и умений [5, 6]:

- знание средств определения разгерметизации на РС МКС и аппаратуры контроля и обеспечения газового состава;
- знание основных допущений и исходных данных для разгерметизации;
- знание средств информации и оповещения экипажа при разгерметизации;
- знание терминологии, порядка вычисления резервного времени;
- знание циклограммы действия экипажа при разгерметизации;
- навыки работы с аварийным оборудованием;
- умение работать с бортовыми системами при разгерметизации;
- умение находить оптимальные пути действия при разгерметизации;
- умение организовать взаимодействие между собой и Центрами управления полетом (ЦУП) в Москве и Хьюстоне.

Основными формами подготовки космонавтов к действиям в аварийных ситуациях на борту МКС являются:

- теоретические занятия по изучению бортовой документации;
- практические занятия на тренажерах МКС по изучению циклограмм работы;
- тренировки на комплексных тренажерах МКС по отработке навыков и умений;
- бортовые тренировки на МКС.

Тренировки на комплексных и специализированных тренажерах станции являются основной и наиболее важной частью подготовки космонавтов к действиям в аварийных ситуациях на борту МКС. На тренировках по действиям в аварийной ситуации экипажи отрабатывают навык расчета резервного времени с помощью номограмм, используя габаритный макет мановакуумметра, который имитирует падение давления в модулях РС в зависимости от заданного темпа, местонахождения экипажа с МВ и конфигурации люков. Отработка действия по стратегии поиска негерметичного отсека осуществляется за счет выдачи инструктором данных о поведении люков (отталкивается/притягивается) при выполнении метода *Tap Technique*. Подготовка экипажей проводится на основании полетных процедур, представленных

в б/и Emergency. При оценивании качества деятельности экипажа на тренировке используется метод отклонений (несоответствий) в действиях экипажа от предписаний бортовой документации.

Многосегментность построения станции предусматривает работу членов международных экипажей МКС в аварийных ситуациях как на своих сегментах, так и деятельность на сегментах партнеров. Для обеспечения эффективной деятельности экипажей на борту станции в случае аварийной ситуации и в условиях постоянного усложнения МКС, при обучении космонавтов была создана и внедрена в практику технология многосегментной подготовки к полету экипажей МКС. Соответственно, к действиям в случае разгерметизации на РС МКС готовятся в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», а к действиям в случае разгерметизации на АС МКС в НАСА [7]. Многосегментная подготовка осуществляется путем проведения учебных сессий на базах партнеров: в России, американском космическом агентстве (НАСА), европейском космическом агентстве (ЕКА), японском космическом агентстве (ДжАКСА). Общая длительность обучения экипажа МКС составляет 70–80 недель. Примеры распределения времени (в неделях) на подготовку космонавтов и астронавтов к полету на МКС на борту российского корабля «Союз» в настоящее время представлены на рис. 7, 8 [7].

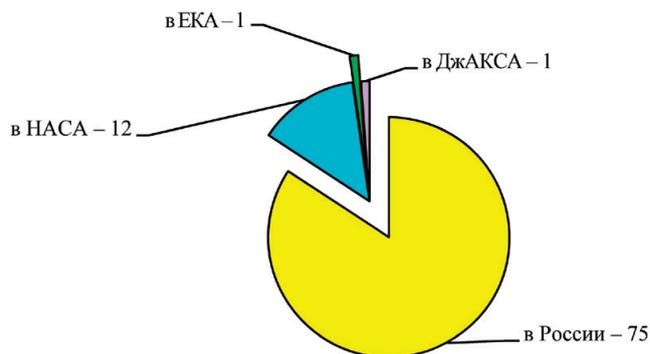


Рис. 7. Подготовка космонавта Роскосмоса к полету на ТПК «Союз МС» и МКС

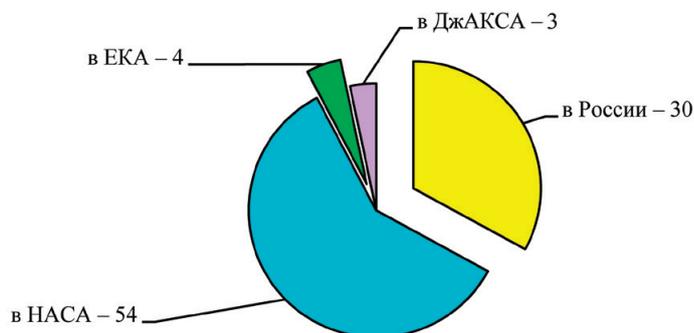


Рис. 8. Подготовка астронавта НАСА к полету на ТПК «Союз МС» и МКС

В соответствии с указанной выше технологией тренировки членов экипажей к действиям в аварийных ситуациях проводятся в 5 этапов (рис. 9):

1. Проведение автономных тренировок с экипажами. Ответственность за такие тренировки несет каждый партнер и использует для этого свою тренажерную базу.

2. Проведение многосегментных тренировок на базах партнеров. Для проведения таких тренировок в составе каждого из комплексных тренажеров SSMTF (Space Station Mockup Training Facility) (NASA) и РС МКС (ЦПК) присутствует тренажер другого сегмента.

3. Тренировки ЦУПов с экипажами в своих странах.

4. Совместные многосегментные тренировки ЦУПов и экипажей (условных экипажей). В таких тренировках участвуют ЦУПы партнеров и могут участвовать экипажи МКС, готовящиеся к полету.

5. Тренировки экипажей на борту МКС при поддержке ЦУПов.

Состав тренажерной базы для подготовки космонавтов к действиям в аварийных ситуациях на МКС включает в себя:

1. Комплексный тренажер РС МКС в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК), Звездный городок, Россия.

2. Комплекс тренажных макетов SSMTF в Космическом центре имени Джонсона (КЦД), НАСА, Хьюстон, США.

3. Бортовой тренажер аварийных ситуаций.



Рис. 9. Конфигурация тренировок экипажа МКС и персонала ЦУП

Комплексный тренажер РС МКС в ЦПК

Комплексный тренажер РС МКС представляет собой гибкий наращиваемый комплекс программно-аппаратных средств для различных тренировочных конфигураций, которые должны учитывать задачи по подготовке экипажей, а также эволюцию МКС в процессе ее сборки и эксплуатации (рис. 10) [8].

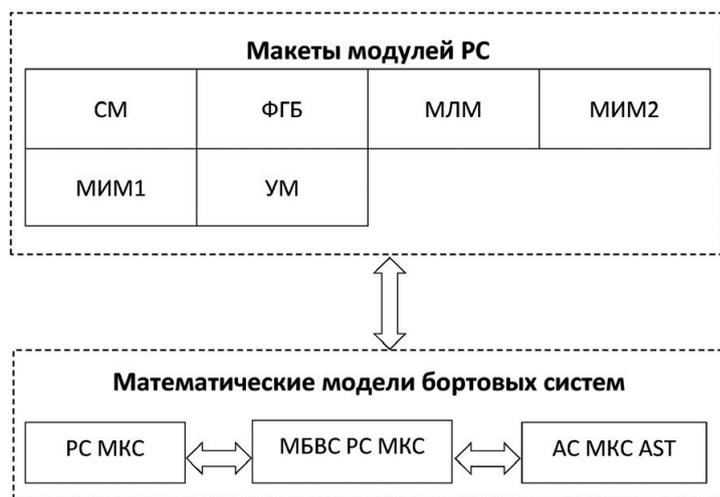


Рис. 10. Структура комплексного тренажера РС МКС в ЦПК

В соответствии с планом развертывания МКС на данный момент комплекс тренажеров в ЦПК содержит в своем составе соответствующие комплексные тренажеры модулей станции.

В настоящее время в состав комплексного тренажера РС МКС в ЦПК входит компьютерная модель АС МКС, который имитирует работу американских систем и обеспечивает обмен данными с системами российского сегмента.

Комплекс тренажеров РС МКС построен на основе полноразмерных макетов модулей МКС, включает системы, которые моделируют выдачу управляющих воздействий экипажем и работу средств отображения, пульт инструктора, имитаторы внешней визуальной обстановки, телевизионную систему и технологическое оборудование. Комплекс тренажеров в ЦПК позволяет отрабатывать действия космонавтов при разгерметизации РС МКС без реального падения давления.

Тренировки по действиям в аварийных ситуациях с использованием тренажных комплексов проводятся в форме тренировок и практических занятий, каждое из которых включает в себя несколько различных вариантов возникновения аварии. Способом проведения занятий является прохождение экипажем алгоритма действий на комплексе макетов и обсуждение выполненных действий членов экипажа с группой специалистов.

Комплекс тренажных макетов SSMTF в Космическом центре имени Джонсона (НАСА, Хьюстон, США)

Комплекс тренажных макетов SSMTF используется для подготовки астронавтов (космонавтов) и операторов ЦУПа к действиям при возникновении аварийных ситуаций, а также проверки процедур, выполнения операций с полезной нагрузкой, складирования (оборудования, запчастей и т. д.), обслуживания, медицинских операций (система обеспечения здоровья экипажа, другое медицинское оборудование) и жизнеобеспечения на элементах США и партнеров. В этом комплексе уделяется особое внимание расположению оборудования МКС, и он включает в себя компоненты отдельных макетов НАСА высокого подобию, макетов ЕКА (Европейского космического агентства), макетов ДжАКСА (Японского национального космического агентства), а также макетов российских элементов станции.

SSMTF не позволяет проводить имитацию возникновения разгерметизации на борту станции, также отсутствие реальных бортовых систем и их моделей не позволяет выполнять действия на борту при возникновении аварии и срочного покидания станции в полном объеме.

Достоинством комплекса является наличие макетов практически всех модулей МКС, что позволяет создать концептуальную модель всей станции. Структура SSMTF представлена на рис. 11. Для тренировок космонавтов на макетах моделируются условия: $30 \text{ мин} \leq T_{\text{рез}} \leq 180 \text{ мин}$.

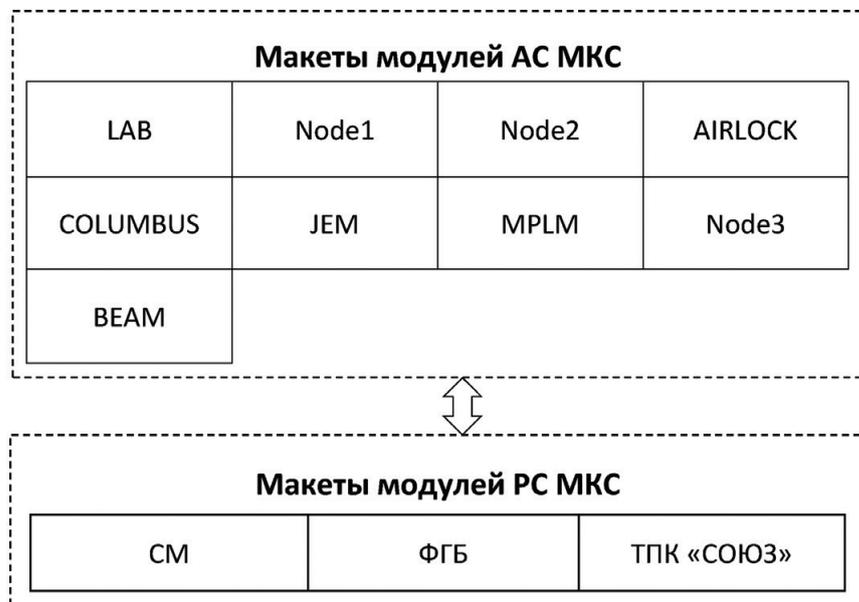


Рис. 11. Структура SSMTF в КЦД

На рис. 12 представлено типовое распределение количества обрабатываемых сценариев разгерметизации в России и США в соответствии с разработанной технологией подготовки экипажей МКС. На этапе дублирования больше сценариев разгерметизации обрабатывается в ЦПК с учетом сценариев разгерметизации транспортного корабля «Союз». На этапе подготовки в составе экипажей больше сценариев обрабатывается в НАСА за счет проведения совместных многосегментных тренировок с участием ЦУПов Хьюстона и Москвы.

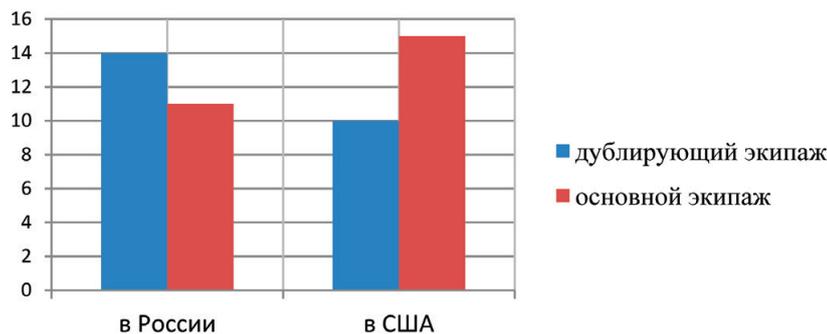


Рис. 12. Типовое количество обрабатываемых сценариев разгерметизации с экипажами МКС при подготовке

Бортовой тренажер аварийных ситуаций

Важным условием поддержания высокого уровня готовности экипажа МКС по действиям в аварийных ситуациях и обеспечения безопасности во время длительного космического полета является проведение бортовых тренировок. За время экспедиции на борту МКС в соответствии с технологией подготовки экипажа проводится не менее двух бортовых тренировок по каждой аварийной ситуации (пожар, разгерметизация, утечка аммиака) с использованием бортового тренажера.

Бортовой тренажер (Emergency On-Board Training Simulator) представляет собой специальное программное обеспечение, установленное на сервере МКС (ISS-SERVER), на бортовых планшетных компьютерах (типа iPad) и на вспомогательном компьютере МКС (SSC).

Количество планшетных компьютеров, используемых в бортовой тренировке, зависит от количества кораблей, пристыкованных к МКС. Один член экипажа каждого корабля работает с бортовым тренажером в качестве оператора, остальные члены экипажа работают с бортовыми инструкциями, аварийным оборудованием, с люками (ознакомление) и поддерживают связь с ЦУПами.

Тренажер позволяет экипажу выбрать месторасположение своего ТПК «Союз» перед началом сценария и язык интерфейса в окне, представленном на рис. 13.

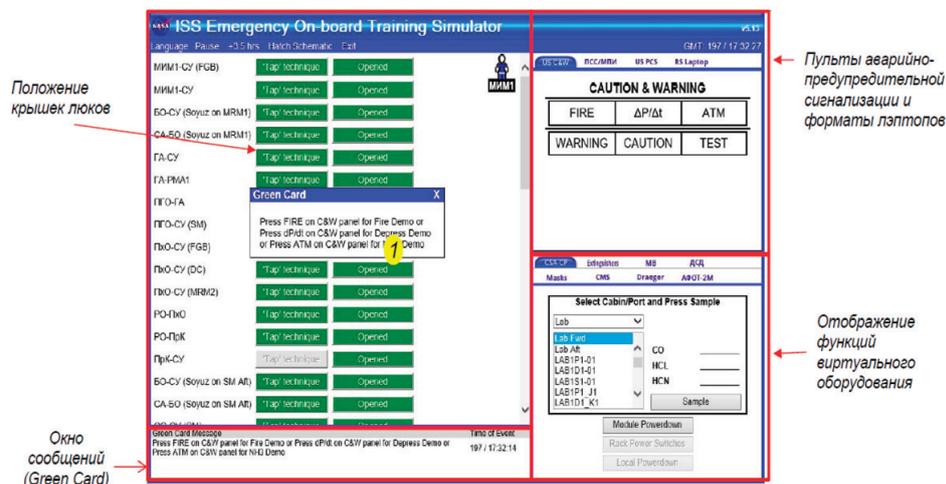


Рис. 13. Формат управления бортового тренажера Emergency

На каждую бортовую тренировку предусмотрено два новых сценария, а также демонстрационная версия (demo), которая содержит обзор всех функций тренажера в качестве подготовки к предстоящей бортовой тренировке по аварийным ситуациям (Emergency OBT).

Программа имеет интуитивно понятный интерфейс и позволяет имитировать работу со всем необходимым оборудованием, используемым при действиях в аварийных ситуациях.

Выводы

Анализ подготовки экипажей МКС показывает, что сформированная в настоящее время специалистами ЦПК и зарубежными партнерами технология подготовки экипажей МКС к действиям при разгерметизации вместе с использованием методов моделирования на тренажерах условий разгерметизации пилотируемых космических объектов и бортового тренажера позволяют успешно проводить подготовку космонавтов и астронавтов для формирования у них устойчивых навыков для действий в аварийных ситуациях.

Деятельность экипажа станции при возникновении разгерметизации носит многовариативный характер. Для дальнейшего исследования деятельности экипажей при различных вариантах разгерметизации стратегия деятельности представлена в виде сетевого графа, что позволит определять наиболее оптимальные пути выхода из аварийной ситуации с учетом временных затрат.

Алгоритм действий экипажа МКС при разгерметизации достаточно подробно регламентирован в соответствующих процедурах полетной бортовой документации. Поэтому при оценивании качества подготовленности экипажа на тренировке используется метод анализа отклонений (несоответствий)

в действиях экипажа от предписаний бортовой документации. При необходимости для детализации состояния подготовленности членов экипажа по данному направлению может использоваться метод экспертных оценок качества компетентности космонавтов [9].

Процедуры деятельности экипажа МКС в условиях разгерметизации, методы поиска негерметичного отсека, а также формы и состав средств подготовки космонавтов к действиям в аварийных ситуациях на РС МКС могут быть применены для организации подготовки экипажей перспективных орбитальных и лунных космических комплексов с учетом доработки [10].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Справочник по безопасности космических полетов / Г.Т. Береговой, В.И. Ярополов, И.И. Баранецкий [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1989. – 336 с.
- [2] Ярополов, В.И. Подготовка космонавтов к действиям в нестандартных ситуациях: учеб. пособие. – Звездный городок: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 1999. – 104 с.
- [3] Спирин, А.И. Методические подходы к парированию аварийных ситуаций на Международной космической станции / А.И. Спирин, О.А. Николаева // Космическая техника и технологии. – 2020. – № 1 (28). – С. 48–59.
- [4] Соловьев, В.А. Управление космическими полетами: учеб. пособие в 2 ч. / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский; под общей ред. Л.Н. Лысенко. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – Ч. 1. – 476 с.
- [5] Долгов, П.П. Моделирование в наземных условиях экстремальных факторов космического полета / П.П. Долгов, А.А. Курицын, И.Г. Сохин // Космонавтика и ракетостроение. – 2010. – № 3 (60). – С. 141–147.
- [6] Курицын, А.А. Система подготовки космонавтов в Российской Федерации / А.А. Курицын, М.М. Харламов, В.П. Хрипунов. – ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2020. – 317 с.
- [7] Development of a Multi-Segment Technology for Training Cosmonauts for Flight on the International Space Station / A.A. Kuritsyn, M.M. Kharlamov, N.A. Chub, I.V. Kutnik [et al.] / Proceedings of the 72nd International Astronautical Congress. – 2021, Dubai, October 25–29, 2021 – Vol. B3.
- [8] Наумов, Б.А. Космические тренажеры. – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2013. – 214 с.
- [9] Методы оценки тренированности космонавтов при проведении подготовки экипажей Международной космической станции / А.А. Курицын, В.И. Ярополов, А.А. Ковинский, В.А. Копнин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 2(31). – С. 44–62.
- [10] Федеральная космическая программа России на период 2016–2025 годы. – URL: <http://www.federspace.ru>.

REFERENCES

- [1] Handbook on space flight safety / Beregovoy G.T., Yaropolov V.I., Baranetsky I.I. [at al.] – Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 336 p.
- [2] Yaropolov, V.I. Manual: “Training Cosmonauts to act in Emergency Situations”. – Star City: State Organization “Yu.A. Gagarin R&T CTC”, 1999. – 104 p.

- [3] Spirin, A.I. Methodological Approaches to Dealing with Emergency Situations on the International Space Station / A.I. Spirin, O.A. Nikolaeva // *Space Engineering and Technology*. – 2020. – No 1(28). – P. 48–59.
- [4] Solovyov, V.A. Space Flight Control: Manual in 2 parts. / V.A. Solovyov, L.N. Lysenko, V.E. Lubinsky; under General Editorship L.N. Lysenko. – Moscow: Publishing House of MSTU Named after N.E. Bauman, 2009. – Part 1. – 476 p.
- [5] Ground-Based Simulation of Space Flight Extreme Factors / Dolgov P.P., Kuritsyn A.A., Sokhin I.G. // *Cosmonautics and Rocket Production*. – 2010. – No 3(60). – P. 141–147.
- [6] Kuritsyn, A.A. Cosmonaut Training System in the Russian Federation / A.A. Kuritsyn, M.M. Kharlamov, V.P. Khripunov. – Star City: FSBO “Yu.A. Gagarin R&T CTC”, 2020. – 317 p.
- [7] Development of a Multi-Segment Technology for Training Cosmonauts for Flight on the International Space Station / A.A. Kuritsyn, M.M. Kharlamov, N.A. Chub, I.V. Kutnik [at al.] // *Proceedings of the 72nd International Astronautical Congress, IAC – 2021, Dubai, October 25–29, 2021 – Vol. B3*.
- [8] Naumov, B.A. Space Simulators. – Star City: FSBO “Yu.A. Gagarin R&T CTC”, 2013. – 214 p.
- [9] Methods for Evaluation of Cosmonauts’ Training Level when Training Crews of the International Space Station / A.A. Kuritsyn, V.I. Yaropolov, A.A. Kovinsky, V.A. Kopnin [at al.] // *Manned Spaceflight*. – 2019. – No 2(31). – P. 44–62.
- [10] Russia’s Federal Space Program for 2016–2025. – URL: <http://www.federalspace.ru>.