

УДК 629.78

О БОРТОВОЙ ПОДГОТОВКЕ КОСМОНАВТОВ

Б.И. Крючков, А.С. Кондратьев, А.Е. Маликов, А.А. Анисимов

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; А.С. Кондратьев; А.Е. Маликов;
канд. воен. наук А.А. Анисимов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье представлен анализ бортовой подготовки космонавтов на РС МКС. Рассмотрены ее структура, формы и содержание. Даны статистические оценки основных показателей бортовой подготовки. Приведены экспериментальные функции распределения различных временных характеристик бортовой подготовки, которые могут быть использованы в математических моделях при исследовании деятельности экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов.

Ключевые слова: космонавт, бортовая подготовка, тренировки, трудозатраты, динамические режимы, аварийные ситуации, статистические характеристики

Cosmonauts Onboard Training. B.I. Kryuchkov, A.S. Kondratiev, A.E. Malikov, A.A. Anisimov

The article presents an analysis of cosmonaut onboard training on the ISS RS simulator. The structure, forms and content of training are considered. Statistical assessment of onboard training main indicators is given. The experimental cumulative distribution functions of onboard training various time characteristics are presented. They can be used for mathematical models when studying crew activities of perspective manned space vehicles.

Keywords: cosmonaut, onboard training, training, labor costs, dynamic modes, emergency situations, statistical characteristics

С течением времени у любого человека в той или иной степени утрачиваются ранее приобретенные знания и операторские навыки. Для поддержания требуемого уровня профессиональной надежности и безопасности космонавтов в длительных многомесячных миссиях проводится бортовая подготовка (БП), которая является одним из обязательных элементов полетной деятельности экипажей на борту современных, особенно длительно функционирующих, пилотируемых космических комплексов (ПКК). Наибольшее совершенствование методы БП получили в ходе обеспечения полетов экипажей ПКК типа «Салют», «Мир», МКС.

Цель БП – поддержание необходимого уровня профессиональной готовности экипажа решать задачи по обеспечению безопасности полета, выполнять наиболее важные полетные операции, в первую очередь динамические, а также обучение космонавтов новым задачам, которые возникают в процессе полета.

В соответствии с нормативными документами подготовка на борту ПКК является четвертым этапом подготовки космонавтов (первый, второй и третий выполняются на Земле).

Укрупненно все задачи БП можно условно разделить на три группы:

- первая – восстановление и поддержание навыков космонавтов в полете для выполнения необходимых операций в случае возникновения аварийных ситуаций (АвС);

- вторая – подготовка к выполнению предстоящих наиболее ответственных операций (динамических режимов, работ с манипулятором, операций внекорабельной деятельности (ВКД) и др.), которые предусматриваются программой полета;

- третья – подготовка к выполнению новых задач, возникших в процессе полета, по которым наземная подготовка не проводилась (новые эксперименты и исследования, подготовка к различным операциям при изменениях программы полета и др.).

Зачастую некоторые задачи могут одновременно относиться и к одной и к другой группе, что характерно, например, для ВКД.

В основном БП проводится в форме тренировок или консультаций, которые направлены на обеспечение постоянной готовности любого члена экипажа к гарантированному выполнению программы полета ПКК как в штатных режимах, так и в нештатных ситуациях (НшС).

В ходе тренировок задействуются специализированные бортовые тренажеры и некоторые элементы бортового оборудования. При проведении консультаций космонавты работают, в основном, с бортовой документацией под руководством инструкторов – методистов, входящих в состав Главной оперативной группы управления (ГОГУ) ЦУПа. При этом может ограниченно использоваться и бортовое оборудование. За счет БП исключается утрата (снижение) полученных при подготовке к полету профессиональных навыков и обеспечивается подготовленность космонавтов к выполнению новых задач, возникших в ходе полета. Особое внимание при БП уделяется недопущению детренированности космонавтов и потере ими сенсомоторных и когнитивных навыков, влияющих на безопасность космического полета.

В общем случае модель надежности космонавта в длительном полете при проведении БП можно представить в виде регенерирующего процесса, когда моменты тренировок являются точками регенерации (рис. 1).

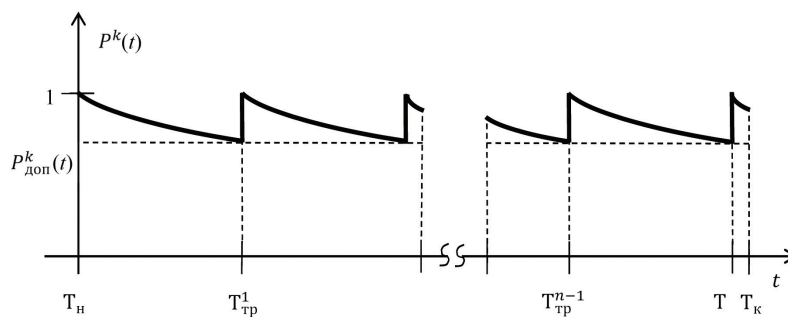


Рис. 1. Функция надежности космонавта как регенерирующий процесс

На рис. 1 обозначено: T_n, T_k – моменты начала и окончания пилотируемой миссии; $T_{тр}^1, T_{тр}^n$ – моменты восстановления профессиональной квалификации космонавта по результатам бортовых тренировок; $P_{доп}^k(t)$ – допустимый уровень снижения вероятности безотказной работы космонавта.

В приведенной модели допускалось, что время восстановления уровня необходимой квалификации на борту ПКК $\tau_{тр}^k = 0$, поскольку оно значительно меньше, чем время достижения $P_{доп}^k(t)$, т. е. $\tau_{тр}^k \ll \Delta T_{тр}^k = T_{тр}^{k+1} - T_{тр}^k$. Ниже будет показано, что, в частности для МКС, это условие выполняется, поскольку на практике отношение $\Delta T_{тр}^k / \tau_{тр}^k$ соответствует значениям порядка 250–300.

Тогда среднее время пребывания космонавта в состоянии, обеспечивающем его достаточную надежность ($1 \geq P^k(t) > P_{доп}^k(t)$) по фактору подготовленности на интервале $[0; T_{тр}]$, можно представить в виде

$$\bar{T}(T_{тр}) = \int_0^{T_{тр}} P^k(t) dt, \quad (1)$$

а соответствующий коэффициент готовности

$$K_{г\ тр}(T_{тр}) = \frac{1}{T_{тр}} \int_0^{T_{тр}} P^k(t) dt. \quad (2)$$

Коэффициент $K_{г\ тр}(T_{тр})$ определяет вероятность нахождения космонавта в состоянии достаточной (приемлемой, необходимой) надежности для выполнения задачи в произвольный момент времени между точками регенерации.

Характеристика задач, структуры и объемов бортовой подготовки на МКС

Все тренировки на борту МКС могут быть условно распределены по двум видам: интегрированные (могут быть мультисегментными) и неинтегрированные.

При мультисегментных тренировках в той или иной степени задействуются модули обоих сегментов МКС и экипаж. В состав Американского сегмента (АС) при БП входят европейский и японский модули, а также канадские элементы МКС. Интегрированные тренировки – это мультисегментные тренировки, в которых задействуются все члены экипажа и наземные ЦУПы всех партнеров по МКС.

Неинтегрированные тренировки проводятся ЦУПами всех партнеров по МКС (Роскосмос, НАСА, ЕКА, ДЖАКСА) автономно в интересах подготовки членов экипажей к надежной работе в АвС и выполнению наиболее важных полетных операций на своих сегментах.

На мультисегментные тренировки приходится 44,5 % от всего количества тренировок экипажа МКС (без учета ВКД). На интегрированные – 12,8 %. При проведении интегрированных тренировок всегда задействуются оба сегмента МКС – Российский сегмент (РС) и АС. При этом в 40,8 %

случаев используется РС и в 59,2 % случаев – АС. Плотность распределения тренировок этих двух видов по количеству на экспедицию показана на рис. 2.

На неинтегрированные тренировки приходится 42,7 % тренировок экипажей на РС МКС. При этом в 79,1 % случаев за экспедицию выполняется от 4 до 6 тренировок.

На рис. 3 показана структура задач и объемов БП с учетом форм ее проведения. Диаграмма отражает усредненные статистические данные по 20 длительным экспедициям экипажей МКС на стационарном участке полета комплекса, когда работы по его сборке не осуществлялись.

Видно, что в общем случае при подготовке к действиям в АвС и выполнению ДР относительное количество тренировок значительно превышает количество консультаций – 90,5 и 9,5 %, соответственно. При этом на тренировки по действиям в АвС приходится 52,5 %, а по динамическим режимам – 38 % от общего количества задач по тренировкам на борту РС МКС.

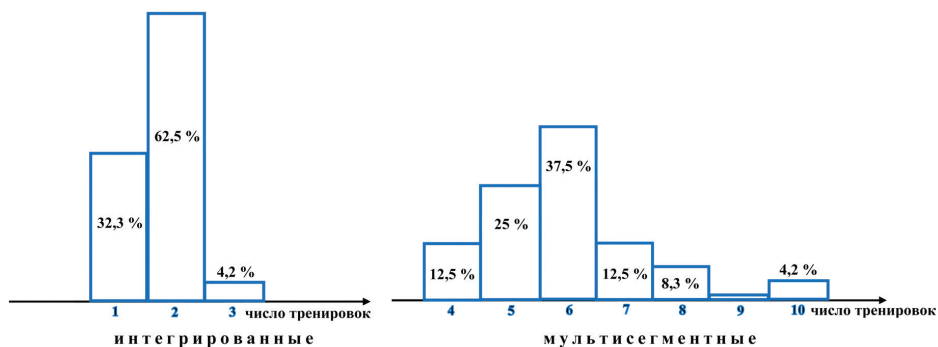


Рис. 2. Плотность распределения числа тренировок на экипаж (экспедицию) МКС



Рис. 3. Структура, количество задач и объемы БП (на экспедицию):
 1 – тренировки по АвС; 2 – тренировки по динамическим режимам (ДР);
 3 – консультации по АвС; 4 – консультации по ДР

Такая форма БП, как консультации, используется в основном при подготовке к выполнению ДР, причем их проведение гармонично сочетается с тренировками по данному разделу. На консультации по действиям экипажей в АвС приходится 0,4 %, а по ДР – 9,1 % от общего количества задач по БП на борту РС МКС.

Статистика по трудозатратам на проведение БП выглядит следующим образом (см. рис. 3). К самым трудоемким работам по БП относятся тренировки по ДР (58,9 %), далее идут тренировки по действиям в АвС (34,7 %). На консультации приходится всего 6,39 % трудозатрат на БП. Из них 0,11 % – на подготовку по действиям в АвС и 6,28 % – на ДР.

Более всего задач БП приходится на отработку вопросов обеспечения безопасности полета экипажа. К ним относятся занятия и консультации, связанные с действиями космонавтов при разгерметизации обитаемых отсеков, возникновении в них пожара, возможных утечек вредных компонентов (аммиак) из внутренних контуров СОТР АС, выполнении маневров МКС по уклонению от космического мусора и др. Кроме того, экипажи проходят тренировки и занятия по вопросам безопасности полета с учетом нахождения в составе комплекса зарубежных объектов (модулей). Например, модулей АС МКС, пилотируемых и грузовых кораблей Dragon, грузовых Cygnus, НТВ и др. При этом обращается особое внимание на обеспечение взаимодействия российских членов экипажа как между собой, так и с членами экипажа международных партнеров, находящихся в это время на МКС.

Важными по значимости и существенными по объемам являются бортовые тренировки по ручным режимам управления космическими аппаратами в составе МКС, которые проводятся на специализированных бортовых тренажерах. К ним, прежде всего, относятся режимы ручного управляемого спуска (РУС) и телеоператорного управления (ТОРУ) транспортными грузовыми кораблями (ТГК) «Прогресс» или автономными модулями (типа МЛМ), работа с манипулятором, тренировки по расстыковке и облету МКС, а также тренировки по расстыковке и спуску на Землю транспортного пилотируемого корабля (ТПК) «Союз», а также по работе с манипулятором ERA. Из них подавляющее число задач БП приходится на отработку режимов ТОРУ и различных видов спуска ТПК. Так по результатам статистического оценивания на долю БП по ТОРУ приходится 43,4 %, на подготовку к различным вариантам штатного и аварийного спусков, в том числе РУС, – 48,4 %. На остальные задачи БП приходится 8,2 %.

В тех экспедициях, где выполняется ВКД, организуется БП экипажа по данному виду деятельности. К наиболее типичным операциям, отрабатываемым в ходе подготовки к ВКД, относятся занятия по изучению конкретных циклограмм шлюзования предстоящего выхода экипажа в открытый космос и отработка действий в АвС. На них приходится 47,1 и 27,2 % соответственно от общего количества задач по БП в части ВКД. На тренировки по освоению циклограммы ВКД и бортовой документации приходится 23,6 % задач

от всей БП по ВКД, на процедуры шлюзования – 22,2 %, на тренировки в одетых скафандрах – 19,4 %. На отработку аварийных процедур по имитации аварийной эвакуации неработоспособного космонавта (перемещению наддувных скафандров в герметичном отсеке) приходится 22,2 % задач, а на отработку перемещений космонавтов в скафандрах в герметичных отсеках – 5,6 %. На другие задачи приходится 6,9 %.

Оценим числовые характеристики имеющейся выборки количества задач $n_i^{\text{БП}}$ БП, с учетом того, что данная выборка является большой [2].

Поскольку наилучшей оценкой математического ожидания случайной величины является ее среднее значение, то

$$M_{n_i^{\text{БП}}}^* = \frac{1}{n^{\text{БП}}} \sum_{i=1}^{n^{\text{БП}}} n_i^{\text{БП}}, \quad (3)$$

где * – символ статистического математического ожидания;

$n_i^{\text{БП}}$ – i -е значение параметра $n^{\text{БП}}$;

$n^{\text{БП}}$ – число наблюдений.

С учетом условий задачи получаем $M_{n_i^{\text{БП}}}^* = 16$.

Для состоятельных и несмещенных оценок среднего квадратического отклонения (СКО) $\sigma_i^{\text{БП}}$ величины $n_i^{\text{БП}}$ воспользуемся формулой

$$\sigma_i^{\text{БП}} = k_n \sigma_{n_i^{\text{БП}}}^* = k_n \sqrt{\frac{1}{n^{\text{БП}}} \sum (n_i^{\text{БП}} - M_{n_i^{\text{БП}}}^*)^2}, \quad (4)$$

где k_n – табличный коэффициент, учитывающий степень смещенности оценок $\sigma_{n_i^{\text{БП}}}^*$.

При числе опытов равном 24 и более коэффициент k_n может быть принят за 1 [2]. Тогда с учетом формулы (4) можно рассчитать значения для $\sigma_i^{\text{БП}}$. В условиях нашей выборки $\sigma_i^{\text{БП}} = 1,31$.

Учитывая большой объем выборки для оценивания достоверности интервала, используем формулы, которые справедливы для любого закона распределения, независимо от того, известно или нет $\sigma_i^{\text{БП}}$ [2].

$$M_{n_i^{\text{БП}}}^* - \frac{\sigma_i^{\text{БП}}}{\sqrt{n^{\text{БП}}}} t_\beta, M_{n_i^{\text{БП}}}^* + \frac{\sigma_i^{\text{БП}}}{\sqrt{n^{\text{БП}}}} t_\beta, \quad (5)$$

где функция $t_{\beta, n-1} = F_{t(k-1)}^{-1} \times \left(\frac{1+\beta}{2}\right)$ определяется по табл. 3.21 в соответствии с работой [3]. Для $\beta = 0,95$ при $n = 44$ получаем значение $t = 2,02$.

Тогда с учетом формул (3), (4) и (5) доверительный интервал будет

$$I_{0,95} < M_{n_i^{\text{БП}}}^* > = \left[M_{n_i^{\text{БП}}}^* - \frac{\sigma_i^{\text{БП}}}{\sqrt{n^{\text{БП}}}} t_\beta; M_{n_i^{\text{БП}}}^* + \frac{\sigma_i^{\text{БП}}}{\sqrt{n^{\text{БП}}}} t_\beta \right] = 16 \pm 0,31. \quad (6)$$

Поскольку число задач БП должно быть целым, можно принять с вероятностью не ниже 0,95, что для экспедиций на РС МКС, аналогичных рассматриваемым, оно будет в интервале [15,0; 17,0].

При необходимости подобным образом может быть выполнена обработка статистических данных по отдельным видам БП.

Для прогноза задач БП представляет интерес анализ промежутков времени между ними $\hat{\tau}_{\text{пр}}$.

На рис. 4 показана гистограмма распределения времени $\hat{\tau}_{\text{пр}}$ между ближайшими задачами бортовой подготовки (время от окончания предшествующей до начала следующей) за период полета МКС с 2012 по 2021 год.

Здесь статистическая плотность распределения времени $\hat{\tau}_{\text{пр}}$ представлена нормированным полигоном $\varphi_{\hat{\tau}_{\text{пр}}}^*(\tau)$, а огибающая гистограммы – функцией $\tilde{\varphi}_{\hat{\tau}_{\text{пр}}}^*(\tau)$.

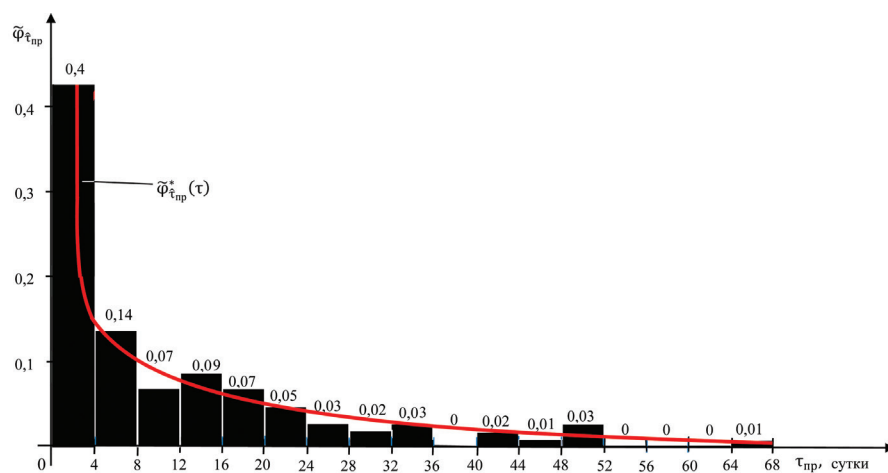


Рис. 4. Гистограмма распределения промежутков времени между задачами БП на РС МКС

На рис. 5 приведена статистическая функция распределения $\tilde{F}_{\hat{\tau}_{\text{пр}}}^*(\tau)$, построенная по тем же экспериментальным данным. Для теоретического описания этой функции можно использовать двухпараметрическое распределение Вейбулла, подобрав соответствующие параметры [4]. Из рис. 5 видно, что для 95 % задач бортовой подготовки полетное время между ними составляет до 20 суток.

Полученные характеристики могут быть использованы в имитационных математических моделях при исследованиях бортовой деятельности экипажей [5, 6], а также при прогнозировании данного вида деятельности космонавтов на перспективной ОКС.

Далее оценим трудозатраты $\tau_j^{\text{БП}}$ экипажей на выполнение задач БП (на примере экспедиций МКС-42 – МКС-67). При объеме выборки 311 значений все полученные данные были распределены в интервальный вариационный

ряд из 14 разрядов (j) по $\Delta\tau_j^{\text{БП}} = 15$ мин. По расчетам частоты попаданий в каждый интервал построена статистическая функция распределения $F_2^*(t)$ времени экипажа на выполнение задач БП (рис. 6).

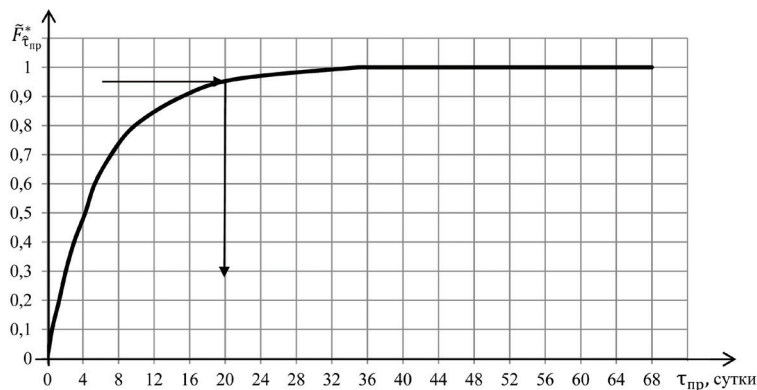


Рис. 5. Функция распределения промежутков времени между задачами БП на РС МКС

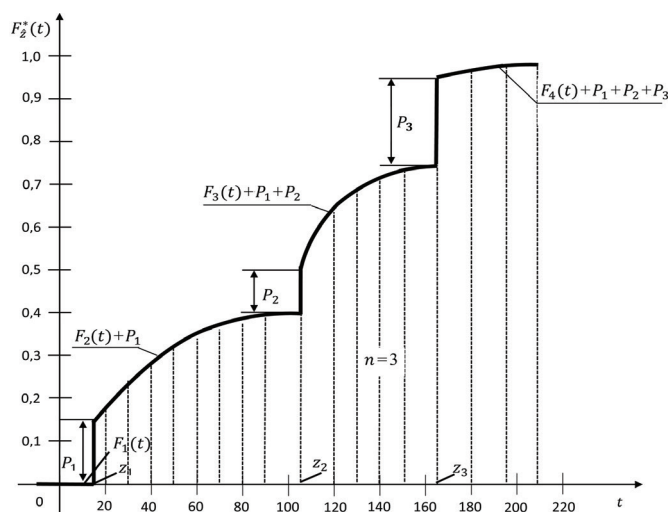


Рис. 6. Функция распределения трудозатрат экипажа на выполнение задач БП

Видно что, зависимость, показанная на рис. 6, носит кусочно-непрерывный характер и имеет типичный вид функции распределения смешанной величины [1]. Как и должно быть для любой функции распределения, все ее значения лежат на отрезке $[0; 1]$, на минус бесконечности она равна нулю, а на плюс бесконечности равна единице. Функция $F_2^*(t)$ обладает свойствами как дискретного, так и непрерывного распределений. Значения смешанной случайной величины \hat{z} сосредоточены в трех точках z_1, z_2 и z_3 , где функция

распределения имеет разрывы и претерпевает скачки, а на участках между ними данные наблюдений распределены непрерывно.

По сути, результирующая функция распределения $F_z(t)$ является суперпозицией двух функций – непрерывной $F_H(t)$ и функции скачка $F_C(t)$

$$F_t = F_H(t) + F_C(t). \tag{7}$$

Тогда для случайной величины смешанного типа согласно теореме Жордана о разложении [3] вид ее функции распределения будет:

$$\sum_{i=1}^{n+1} F_i(t) \prod (t, z_{i-1}, z_i) + \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta(t - z_i), \tag{8}$$

где $F_i(t)$ – непрерывные и дифференцируемые функции на интервалах $[z_{i-1}, z_i]$ и такие, что $F_i(z_i) = F_{i+1}(z_i)$, $[i = 1(1)n+1]$;

$$P_i = P(\hat{Z} = z_i);$$

i – номер скачка;

$$\prod (t, z_{i-1}, z_i)^d = \begin{cases} 0 & \text{при } t < z_{i-1} \\ 1 & \text{при } z_{i-1} \leq t < z_i, \text{ -единичный прямоугольный импульс,} \\ & \text{селектор интервала } [z_{i-1}, z_i]; \\ 0 & \text{при } t \geq z_i \end{cases}$$

$$\Delta(t-z_i)^d = \begin{cases} 0 & \text{при } t < z_{i-1} \\ 1 & \text{при } t \geq z_{i-1} \end{cases} \text{ - смещенная единичная функция, селектор луча } [z_{i-1}, \infty].$$

В условиях нашего графика (см. рис. 6) $n = 3$, $i = 1(1)4$, $F_1(t) = 0$ выражение (8) примет вид:

$$F_z(t) = \sum_{i=2}^4 F_i(t) \prod (t, z_{i-1}, z_i) + \sum_{i=2}^3 P_i \Delta(t - z_i), \tag{9}$$

при этом $z_1 = \tau_1 = 15$ мин, $z_2 = \tau_2 = 105$ мин, $z_3 = \tau_3 = 165$ мин.

Величины P_1, P_2, P_3 – есть не что иное, как размеры скачков $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$ функции $F_z(t)$ в соответствующих местах ее разрывов z_1, z_2, z_3 .

Использование в имитационных математических моделях (ИММ) формул (8) и (9) возможно, но приводит к усложнению вычислительных алгоритмов из-за неявного вида входящих в нее выражений для селекторов интервала и луча. При моделировании методом Монте – Карло целесообразно использовать статистическую функцию распределения $F_z^*(t)$, представленную на рис. 6, но не в целом, а только ее непрерывные фрагменты $F_1(t), F_2(t)+P_1 \dots F_4(t) + P_1 + P_2 + P_3$.

При этом возможны три способа использования статистических данных: первый – теоретическое описание с помощью каждого из фрагментов известными методами [4, 6]; второй – использование статистических характеристик непрерывных фрагментов $F_1^*(t) \dots F_4^*(t) + P_1 + P_2 + P_3$. Наконец, в ИММ для формирования $\tau_i^{\text{БП}}$ можно «напрямую» воспользоваться полученным экспериментально статистическим рядом распределения случайной величины z ($\tau_i^{\text{БП}}$ для нашей задачи), представленным в виде табл., или, что тоже самое, n – мерным вектором вероятностей, который при $n = 14$ выглядит следующим образом:

$$F_\tau = \langle P_1(\tau = 0 \div 15), P_2(\tau = 15 \div 30), P_3(\tau = 30 \div 45), \dots P_{14}(\tau = 195 \div 210) \rangle. \quad (10)$$

Интервальный ряд распределения $\tau_i^{\text{БП}}$

τ	0–15	15–30	30–45	45–60	60–75	75–90	90–105	105–120	120–135	135–150	150–165	165–180	180–195	195–210
P	0	0,212	0,145	0,019	0,006	0,019	0	0,187	0,148	0,013	0	0,277	0	0,003

Некоторые особенности бортовой подготовки

Оценим место БП экипажа на борту ПКК в сравнении с другими видами полетной деятельности космонавтов. В работах [7–9] приведен ряд диаграмм, демонстрирующих структуру трудозатрат космонавтов на выполнение задач программы полетов в некоторых конкретных длительных и кратковременных миссиях на РС МКС. Из них видно, что относительные объемы трудозатрат экипажей на БП существенно меньше, чем на многие другие задачи полета (например, техническую эксплуатацию комплекса, целевые работы и научные эксперименты, медицинские процедуры и др.), что естественно. В то же время БП является типовой и важной составляющей деятельности космонавтов во всех экспедициях, а следовательно, должна всегда учитываться при подготовке космонавтов к полетам, формировании циклограмм деятельности экипажа и планировании ЦУПом его работ.

Трудозатраты на БП ($T_{уд}^{\text{БП}}$) оцениваются (в %) как отношение затраченного космонавтами рабочего полетного времени на выполнение всех задач БП к фактическому рабочему времени за экспедицию

$$T_{уд}^{\text{БП}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\tau_i^{\text{БП}}}{T_{\text{факт}}^{\text{эксп}}}, \quad (11)$$

где $\Delta\tau_i^{\text{БП}}$ – трудозатраты на БП по i -й задаче;

n – число экспедиций;

$T_{\text{факт}}^{\text{эксп}}$ – фактическое рабочее время экипажа за всю экспедицию.

Для оценивания $T_{уд}^{БП}$ для РС МКС была рассмотрена выборка, размах которой (разность между наибольшим и наименьшим значениями) объемом $n < T_{удj}^{БП} > = 35 < T_{удj}^{БП} >$ (здесь j – номер экспедиции РС МКС) составлял $4,32 - 1,56 = 2,76$ %. В состав анализируемой выборки вошли результаты БП на РС МКС в период ее эксплуатации с декабря 2012 г. по октябрь 2022 г. (экспедиции МКС-32/33 – МКС-67). Статистическое значение математического ожидания для относительных трудозатрат космонавта на БП за упомянутый период составило 2,62 %, а среднее квадратическое отклонение – 0,65 %.

Очевидной корреляции между относительными трудозатратами экипажа на БП и продолжительностью экспедиций или опытом космонавтов не отмечается.

Отметим практическую важность рационального использования наземных и бортовых технических средств подготовки космонавтов (ТСПК), относящихся к задачам БП:

а) наземные и бортовые ТСПК должны иметь подобные эргономические характеристики в части рабочих мест, органов и пультов управления и другое, а также программное обеспечение. В случае текущих доработок бортовых версий, наземные ТСПК, независимо от способа их исполнения (полунатурные, виртуальные, смешанные и др.) или размещения (автономные в классах подготовки, мобильные, в составе стационарных или динамических тренажеров и т. п.), должны оперативно дорабатываться с целью исключения возможности привития космонавтам неправильных навыков.

б) космонавты должны иметь практический опыт работы с реально действующим оборудованием (огнетушители, изолирующие противогазы, маски, фильтры и др.), применяемым в случае возникновения АвС типа пожар, появление вредных примесей в жилых отсеках, разгерметизация.

Выводы

1. Подготовка космонавтов на борту орбитальных космических комплексов является обязательным элементом их полетной деятельности, направлена на поддержание профессиональной надежности экипажа в интересах гарантированного обеспечения наиболее ответственных задач программы полета и действий при возникновении нештатных (аварийных) ситуаций.

2. В статье рассмотрены основные виды бортовой подготовки экипажей МКС. Приведены статистические оценки их основных показателей и функции распределения временных характеристик, которые могут быть использованы в моделях и экспертном анализе деятельности экипажей перспективных ПКК.

3. Опыт подготовки космонавтов с использованием аналогов и моделей бортовых тренажеров целесообразно учесть при проектировании РОС. Особое внимание при этом следует обратить на реализацию решений, обеспечивающих адекватность наземных и бортовых тренажеров и моделей, идентичность их программного обеспечения, а также процедур его своевременного обновления.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иоффе, А.Я. Вероятностные методы в прикладной кибернетике: учеб. пособие / А.Я. Иоффе, В.М. Марков, Г.Б. Петухов, Р.М. Юсупов. – Ленинград: МО СССР, 1976. – 424 с.
- [2] Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. – Москва: Наука, 1983. – 207 с.
- [3] Иоффе, А.Я. Справочное пособие по прикладной математике / А.Я. Иоффе, Г.Б. Петухов, Л.М. Морозов. – Ленинград: МО СССР, 1975. – 253 с.
- [4] Статистические методы обработки результатов наблюдений: монография / Р.М. Юсупов, Г.Б. Петухов, В.Н. Сидоров [и др.]. – Москва: МО СССР, 1984. – 563 с.
- [5] Молчанов, А.А. Моделирование и проектирование сложных систем / А.А. Молчанов. – Киев: Выща школа, 1988. – 359 с.
- [6] Крючков, Б.И. Имитационная математическая модель ВКД космонавтов на поверхности Марса / Б.И. Крючков, П.П. Долгов // Пилотируемые полеты в космос. – 2023. – № 1(46). – С. 61–73.
- [7] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-59/60 при выполнении программы космического полета / А.Н. Овчинин, А.А. Медведев, П.А. Сабуров [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2019. – № 4(33). – С. 5–22.
- [8] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-60/61 при выполнении программы космического полета / А.А. Скворцов, А.И. Кондрат, П.А. Сабуров [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 5–22.
- [9] Кононенко, О.Д. Совершенствование профессиональной деятельности космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 2(43). – С. 6–18.

REFERENCES

- [1] Ioffe, A.Ya. Probabilistic Methods in Applied Cybernetics / A.Ya. Ioffe, V.M. Markov, G.B. Petukhov, R.M. Yusupov. – Leningrad: Ministry of Defense of the USSR, 1976. – 424 p.
- [2] Wentzel, E.S. Operations Research. Tasks, Principles, Methodology / E.S. Wentzel. – Moscow: Science, 1983. – 207 p.
- [3] Ioffe, A.Ya. Reference Manual on Applied Mathematics / A.Ya. Ioffe, G.B. Petukhov, L.M. Morozov. – Leningrad: Ministry of Defense of the USSR, 1975. – 253 p.
- [4] Statistic Methods of Processing the Observation Results / R.M. Yusupov, G.B. Petukhov, V.N. Sidorov [et al.]. – Ministry of Defense of the USSR, 1984. – 563 p.
- [5] Molchanov, A.A. Modeling and Design of Complex Systems / A.A. Molchanov. – Kiev: High School, 1988. – 359 p.
- [6] Kryuchkov, B.I. Simulated Mathematical Model of Cosmonauts' EVA on Mars Surface / B.I. Kryuchkov, P.P. Dolgov // Manned Space Flights, 2023. – No 1 (46). – P. 61–73.
- [7] Main Results of ISS-59/60 Expedition Crew Training and Activities when Implementing Space Flight Program / A.N. Ovchinin, A.A. Medvedev, P.A. Saburov [et al.] // Manned Space Flight. – 2019. – No 4 (33). – P. 5–22.
- [8] Main Results of ISS-60/61 Expedition Crew Training and Activities when Implementing Space Flight Program / A.A. Skvortsov, A.I. Kondrat, P.A. Saburov [et al.] // Manned Space Flight. – 2020. – No 2 (35). – P. 5–22.
- [9] Kononenko, O.D. Improvement of Cosmonauts Professional Activity // Manned Space Flight. – 2022. – No 2(43). – P. 6–18.