

## **АДАПТАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ ПКА НА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ПОДГОТОВКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЛУННЫМ ЭКСПЕДИЦИЯМ**

А.А. Курицын

Докт. техн. наук, доцент А.А. Курицын  
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Перспективы развития отечественной пилотируемой космонавтики предусматривают создание нового пилотируемого транспортного корабля (ПТК) для осуществления полетов к Луне и в дальний космос. Соответственно процесс формирования программ подготовки космонавтов на создаваемых тренажерах лунных ПКА (ПТК, ЛВПК, лунные модули, лунные станции) должен носить научно обоснованный характер, опирающийся на опыт подготовки экипажей отечественных ПКА.

**Ключевые слова:** пилотируемый транспортный корабль, подготовка космонавтов, технические средства подготовки космонавтов (ТСПК), лунная программа.

### **Adaptation of the Theoretical Approaches to Controlling the Process of Training Crews of MSVs on the Technical Training Facilities with regard to Lunar Expeditions. A.A. Kuritsyn**

Further development of national manned cosmonautics stipulates designing and building a new manned transport spacecraft with regard to lunar and deep space missions. Accordingly, the elaboration of the programs of training cosmonauts on the simulators of lunar manned vehicles and habitable constructions (manned transport spacecraft, lunar takeoff-and-landing complex, lunar modules, stations, and bases) under construction should be scientifically reasoned and relied on a store of experience in training crews of national MSVs.

**Keywords:** manned transport spacecraft, cosmonaut training, technical facilities for cosmonaut training, lunar program.

В настоящее время пилотируемые программы ведущих космических держав (Россия, США, Китай) предусматривают выполнение полетов с целью начала освоения Луны и окололунного пространства. С этой целью в России создается новый пилотируемый транспортный корабль и предполагается создание ракеты-носителя супертяжелого класса, которые позволят осуществлять полеты к Луне [3]. В США идут строительство и испытания пилотируемого транспортного корабля ORION, который совместно с носителем SLS предназначен для выполнения лунной программы и, в дальнейшем, осуществления полетов в дальний космос.

Одним из важнейших моментов осуществления лунной программы является подготовка космонавтов (астронавтов) к выполнению лунных миссий, что подразумевает создание комплекса средств подготовки космонавтов по лунной программе и формирование программ подготовки космонавтов.

Создание научно-обоснованных программ подготовки космонавтов на технических средствах подготовки и, в дальнейшем, управление процессом подготовки космонавтов на основании оценки качества подготовленности космонавтов, возможность изменения программ подготовки с учетом коррекции планов освоения Луны потребуют использования технологии адаптивного управления процессом подготовки космонавтов.

### **Задача управления подготовкой экипажа ПКА на технических средствах подготовки космонавтов по лунной программе**

История полетов пилотируемых космических аппаратов в России и за рубежом в настоящее время насчитывает почти 60 лет. За время данных полетов накоплен огромный опыт эксплуатации ПКА. Рассмотрим систему взаимодействия экипажа ПКА в полете как систему взаимодействующих между собой составляющих (рис. 1) в целом.

В данной системе Центр управления полетом рассматривается только в части, непосредственно влияющей на полет ПКА. Опыт полетов показывает, что эксплуатация бортовых систем ПКА может проводиться в штатных и нештатных режимах полета.

Любая система ПКА в процессе своего функционирования взаимодействует с внешней по отношению к ней средой. Полеты в окололунное пространство сформируют совершенно новые условия выполнения космических



Рис. 1. Система взаимодействия экипажа ПКА

полетов по сравнению с полетами на низких околоземных орбитах. Указанное взаимодействие всего комплекса систем (единой системы) ПКА по лунной программе будет осуществляться посредством управлений  $U_{\langle\eta\rangle}$ , возмущений  $\Xi_{\langle\mu\rangle}$  и реакций  $Y_{\langle\nu\rangle} = [y_1, y_2, \dots, y_n]$  ПКА. Функционирование системы ПКА тогда описывается алгоритмом  $G: U_{\langle\eta\rangle} \times \Xi_{\langle\mu\rangle} \times Z_{\langle\rho\rangle} \Rightarrow Y_{\langle\nu\rangle}$ , определяющим порядок и логические условия преобразования управлений и возмущений в реакции системы. При фиксированном алгоритме полета ПКА (деятельности космонавтов на лунной станции) функционирование системы полностью определяется набором числовых параметров  $\Psi_{\langle\xi\rangle} = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_\xi]$ ,  $\Psi_{\langle\xi\rangle} \in G$ , входящих в его состав (рис. 2) [13].

Условием штатной работы системы является выполнение ограничений  $\Gamma: U_{\langle\eta\rangle} \in \{M_U\}, \Xi_{\langle\mu\rangle} \in \{M_\Xi\}, Y_{\langle\nu\rangle} \in \{M_Y\}$  на допустимые значения управлений, возмущений и реакций, соответственно. Однако даже при выполнении ограничений по управлениям и возмущениям система может оказаться в нештатном режиме функционирования из-за изменения в результате воздействия внешних  $\Phi_{\text{внеш}} \subset \Phi$  и внутренних  $\Phi_{\text{внутр}} \subset \Phi$  факторов ее алгоритма работы  $G$  и параметров  $\Psi_{\langle\xi\rangle}$ .

Главное содержание деятельности экипажа на борту любого ПКА состоит в увязке по назначению и содержанию различных полетных операций  $O_i$ , которым соответствует одна или несколько целей. Полетная операция является основной оперативной единицей деятельности (ОЕД) экипажа. Поэтому, в упрощенном виде (в случае отсутствия на экипаж возмущающих воздействий), деятельность экипажа в полете можно представить как упорядоченное определенным образом выполнение множества полетных операций  $\{O_i\}$  [13].

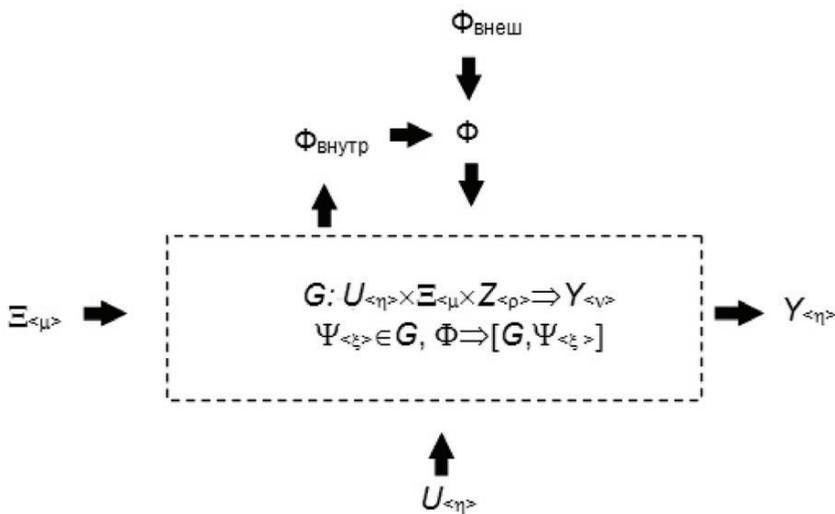


Рис. 2. Обобщенная модель системы ПКА

Полетная операция  $O_i$  – это упорядоченная совокупность взаимосвязанных действий, направленных на достижение цели, обычно связанных с эксплуатацией одной системы ПКА, выполнением одного научного эксперимента [11–13]. Подразумевается, что полетная операция связывается с деятельностью экипажа на борту ПКА, но если говорить о ПКА в целом, то можно сказать, что к полетным операциям относятся действия, связанные с эксплуатацией систем корабля (станции) или выполнением научных экспериментов, проводимых не только непосредственно экипажем, но и выполняемых автоматически по заданию специалистов ЦУПа. Таким образом, в упрощенном виде при отсутствии нештатных ситуаций функционирование лунного ПКА можно представить как последовательность выполнения полетных операций по работе с бортовыми системами (динамические операции, эксплуатация систем и т.п.) и проведению научных экспериментов, которые могут выполняться как экипажем ПКА, так и автоматически по заданию ЦУПа.

Для выполнения лунной программы весь перечень полетных операций по лунной программе  $\{O_{li}\}$  можно разбить на следующие множества:

$O_{штк}$  – полетные операции, выполняемые на борту лунного ПТК при полете к Луне и обратно;

$O_{впк}$  – полетные операции, выполняемые на взлетно-посадочном комплексе;

$O_{лл}$  – полетные операции, выполняемые на поверхности Луны;

$O_{лс}$  – полетные операции, выполняемые на борту орбитальной лунной станции (при наличии).

Нештатная ситуация – ситуация, сложившаяся в результате появления замечаний или отказов, приводящих к изменению штатной программы полета [13].

При выполнении  $O_i$  интерес представляет конкретная траектория изменения системы, поэтому для ее определения должны быть заданы начальные условия  $Z_{0\langle\rangle} = [z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0p}]$  функционирования системы на момент  $t_0$  выполнения полетной операции.

Решение вопроса раскрытия существа, динамики развития полетной операции основывается на возможности воспроизведения траекторий  $Z_{\langle\rangle}(t)$  систем ПКА при штатном режиме функционирования. Это может быть достигнуто путем использования математических моделей систем ПКА, для чего необходимо задать: управления  $U_{\langle\pi\rangle}$ , возмущения  $\Xi_{\langle\mu\rangle}$ , реакции  $Y_{\langle\nu\rangle}$ , алгоритм  $G$ , параметры  $\Psi_{\langle\epsilon\rangle}$ , ограничения  $\Gamma$ , воздействие факторов  $\Phi \Rightarrow [G; \Psi_{\langle\epsilon\rangle}]$  и начальные условия  $Z_{0\langle\rangle}$ .

Все указанные компоненты образуют в совокупности функцию динамики полетной операции  $O_i F_D(O): [U_{\langle\pi\rangle}, \Xi_{\langle\mu\rangle}, Y_{\langle\nu\rangle}, G, \Psi_{\langle\epsilon\rangle}, \Gamma, (\Phi \Rightarrow [G; \Psi_{\langle\epsilon\rangle}]), Z_{0\langle\rangle}]$ .

Каждая система ПКА для лунной экспедиции должна характеризоваться набором наблюдаемых параметров. В целом, множество наблюдаемых параметров всех систем образует вектор  $S_{\langle\chi\rangle} = [s_1, s_2, \dots, s_\chi]$  наблюдаемых пара-

метров ПКА, которые позволяют однозначно идентифицировать состояние лунного ПКА в конкретный момент.

В соответствии с программой полета лунной экспедиции на борту ПКА космонавт будет выполнять определенное количество  $N$  полетных операций  $O_i$ . При этом, вероятность выполнения им  $i$ -й операции будет равна  $P(O_i)$ , а значимость полетной операции равна  $\alpha_{зн}(O_i)$ . Значимость полетной операции  $\alpha_{зн}(O_i)$  отражает в количественной форме степень ее влияния на результаты выполнения программы полета лунной экспедиции и может быть представлена в виде числа с интервалом значений от 0 до 1. Тогда качество подготовки космонавта к выполнению программы лунной экспедиции может быть оценено выражением [2, 13]:

$$W_{\text{подг}} = \sum_{i=1}^N P_i(O_i) \alpha_{\text{зн}i}(O_i). \quad (1)$$

В соответствии с проектной документацией на ПТК, требования к качеству подготовки экипажей ПТК (требуемое значение качества подготовки  $W_{\text{тр}}$ ) обычно задаются следующими правилами:

а) вероятность выполнения программы полета (доставки и возвращения экипажа и грузов)  $P \geq 0,95$ ;

б) вероятность обеспечения безопасности экипажа в полете  $P \geq 0,99$ .

Поэтому на качество подготовки космонавтов оказывает содержание программы подготовки космонавтов на тренажерах, например, учет в подготовке полетных операций, непосредственно влияющих на выполнение программы полета (выведение, стыковка, посадка на поверхность Луны взлет с нее, спуск, действия в аварийных ситуациях и т.п.). Таким образом, для подготовки необходимо отбирать операции с учетом их важности (значимости для выполнения программы полета). Вероятность выполнения экипажем ПКА по лунной программе операций, связанных с обеспечением безопасности экипажа (значимость  $\alpha_{зн}$  такой операции равна 1), должна быть  $P \geq 0,99$ .

Если показатель качества подготовки экипажей лунных экспедиций представить как зависимость от параметров управления подготовкой, получим:

$$W_{\text{подг}} = f[X, U, F, I, K], \quad (2)$$

где параметры управления подготовкой экипажей на тренажерах:

$X$  – множество текущих показателей космонавта как объекта управления в процессе тренировок на ТСПК;

$U$  – множество управляющих воздействий, вырабатываемых средствами ТСПК, инструктором или самостоятельно космонавтом с целью управления процессом подготовки;

$F$  – внешнее возмущающее воздействие среды (количество и качество тренажных средств обучения, условия проведения тренировок, степень под-

готовленности инструкторского состава, эмоциональные воздействия на космонавта);

$I$  – множество показателей подготовленности (обученности) космонавта на ТСПК;

$K$  – множество корректирующих воздействий.

При известной зависимости показателей экипажа в процессе подготовки по лунной программе, полученных на основании анализа деятельности космонавтов в процессе тренировок, и учета начального уровня подготовленности членов экипажа  $L_0$ :

$$\frac{dX}{dt} = f[L_0, U, F, I, K], \quad (3)$$

может быть математически формализована задача управления подготовкой экипажа ПКА по лунной программе:

**Исходные данные на подготовку экипажа:**

$S = \{S_\mu, \mu = \overline{1, M}\}$  – множество членов экипажа лунной экспедиции, из них  $M_0$  – количество членов экипажа, имеющих опыт полета (при повторных полетах);

$O = \{O_i, i = \overline{1, N}\}$  – множество полетных операций в программе полета лунной экспедиции  $\Pi_n$ ;

$R = \{R_\nu, \nu = \overline{1, \Omega}\}$  – множество режимов полета ПКА (режим полета  $R$  включает в себя фиксированное количество полетных операций) в программе полета лунной экспедиции;

$A = \{A_j, j = \overline{1, Q}\}$  – множество расчетных нештатных ситуаций в программе полета лунной экспедиции;

$L_0 = \{L_{01}, \dots, L_{0M}\}$  – начальный уровень подготовленности членов экипажа лунной экспедиции.

**Ограничения на подготовку:**

$T_{\text{доп}}$  – допустимая продолжительность подготовки;

$\tau$  – рациональный промежуток времени между двумя соседними тренировками;

$V$  – множество полетных операций, которые возможно отработать на тренажерах;

$\tau_{\text{тр}}$  – рациональная длительность тренировки;

$n_{\text{треб}}$  – требуемое нормативное число повторений полетных операций и НшС при подготовке;

$D_{\text{треб}}$  – требуемое значение преимущества тренировок;

$C_{\text{доп}}$  – ограничение на суммарную сложность тренировок;

$\varepsilon_{\text{треб}}$  – требуемый показатель возрастания сложности полетных операций при подготовке.

При известных показателях деятельности космонавтов (членов лунной экспедиции)  $X$  в процессе подготовки на ТСПК определить оптималь-

ные векторы параметров управления  $U^*$  и корректирующих воздействий  $K^*$  для подготовки экипажей лунных экспедиций:

$$\{U^*, K^*\} = \underset{\{U, K\}}{\text{Arg max}} W_{\text{подг}}(L_0, X, F, I, U, K), \quad (4)$$

доставляющих функции качества подготовки  $W_{\text{подг}}(L_0, X, U, F, I, K)$  максимальное значение, но не ниже требуемого  $W_{\text{подг}}(L_0, X, U, F, I, K) \geq W_{\text{тр}}$ , при ограничениях:

$$T_{\text{п}} \leq T_{\text{доп}}; \tau_{\text{н,доп}} \leq \tau \leq \tau_{\text{в,доп}}; \tau_{\text{н,доп}} \leq \tau_{\text{тр}} \leq \tau_{\text{в,доп}}; n_{O_i} \geq n_{\text{треб}}; n_{A_i} \geq n_{\text{треб}}; n_{Z_i} \geq n_{\text{треб}}; D \leq D_{\text{треб}}; C_{\text{сум}} \leq C_{\text{доп}}; \varepsilon \leq \varepsilon_{\text{треб}}; O_{\text{тр}} \subseteq V,$$

где  $O_{\text{тр}}$  – множество полетных операций, которые могут быть включены в программу подготовки экипажей лунных экспедиций.

Наличие изменяющихся начальных условий подготовки экипажей лунных экспедиций (состав и количество опытных членов экипажа  $M_0$ , длительность подготовки экипажа  $T_{\text{п}}$ , программа полета экипажа  $\Pi_{\text{п}}$ , в том числе циклограмма деятельности космонавтов на поверхности Луны, начальный уровень подготовленности членов экипажа  $L_0$ ) и необходимость учета разнообразных внешних воздействий среды  $F$  в процессе подготовки требуют при проведении исследований использования методов и средств теории адаптивного автоматизированного управления [2, 5, 7–8, 10, 15].

## Управляющие параметры подготовки экипажей ПКА лунных экспедиций на ТСПК

Программа подготовки космонавтов на комплексных и специализированных тренажерах по лунной программе будет представлять собой перечень  $\{V_i\}$  упражнений и порядок  $\{V_i \succ V_j\}$  их отработки при подготовке космонавтов. При этом упражнения  $V_i$  представляют собой совокупность полетных операций  $\{O_i\}$ , комплексных режимов  $\{R_v\}$  и нештатных ситуаций  $\{A_j\}$ , которые подбираются для этого по определенным принципам [4].

На борту лунного ПТК предполагаются следующие должности:

- командир корабля;
- пилот;
- участник космического полета.

Длительность подготовки экипажей лунных экспедиций является ограниченной, поэтому и срок  $T_{\text{п}}$ , отводимый на подготовку на тренажерах, является ограниченным и зависит от ряда факторов. В настоящее время в соответствии с Руководством по подготовке космонавтов принята длительность подготовки одного экипажа до 24 месяцев.

Для проведения тренировок на тренажерах существует рациональное значение величины  $\tau_{\text{пр}}$  промежутка времени между двумя соседними тренировками, зависящее от номера тренировки (текущего времени подготовки  $t_{\text{п}}$ )

и обеспечивающее наибольшее качество процесса обучения. При этом величина  $\tau_{\text{тр}}$  допускает изменения от своего нижнего значения  $\tau_{\text{тр}}^{\text{н}}$  до верхнего  $\tau_{\text{тр}}^{\text{в}}$  без существенного изменения качества процесса обучения. Уменьшение промежутка между соседними тренировками меньше нижнего значения  $\tau_{\text{тр}}^{\text{н}}$  уже не будет повышать эффективность подготовки экипажа [13].

Деятельность космонавтов и астронавтов на борту современной космической станции характеризуется большим количеством и разнообразием решаемых задач и возможных полетных ситуаций. Массив выполняемых в процессе полета ПКА по лунной программе операций будет насчитывать тысячи полетных процедур, в большинстве из которых в той или иной степени принимает участие экипаж. Кроме того, экипаж должен быть подготовлен к действиям в различных нештатных ситуациях, которые могут возникнуть в полете. Отработать на тренажере во время подготовки к полету все штатные полетные процедуры (не говоря уже о нештатных ситуациях) не будет представляться возможным. Ограничения накладывают и сроки подготовки, и технические возможности тренажеров, и ряд других факторов.

Все это в совокупности ограничивает число  $K_{\text{тр.в.}}$  тренировок, которые возможно провести за время  $T_{\text{п}}$ , и заставляет строить процесс обучения, исходя из этих возможностей. Для обеспечения необходимого уровня подготовленности экипажа лунной экспедиции к действиям данной операции  $O_i$ , она должна быть отработана экипажем не менее  $n(O_i)$  раз (нормативного числа повторений полетной операции при подготовке), что определяется значимостью (важностью) данной полетной операции  $\alpha_{\text{зн}}(O_i)$  при обучении [12, 13]. Если представить тренировку как единую последовательность полетных операций, то для освоения всего множества  $\{O_i\}$  полетных операций, отрабатываемых в процессе тренажерной подготовки, необходимо провести число тренировок [13]:

$$K_{\text{тр}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{0i} n(O_i)}{T_{\text{тр}}}, \quad (5)$$

где  $\tau_{0i}$  – длительность  $i$ -й полетной операции;

$T_{\text{тр}}$  – длительность тренировки;

$n$  – общее число полетных операций, отрабатываемых в процессе тренажерной подготовки на тренажере данного типа.

Данное число тренировок определяет требования к объему подготовки экипажа лунной экспедиции на ТСПК, которые должны быть в обязательном порядке выполнены, если снижение установленного уровня подготовленности экипажа к полету недопустимо.

Способы действий, усваиваемые космонавтами в процессе тренировок на тренажерах, становятся их навыками и умениями. Навыком является способ выполнения операции, который доведен до автоматизма, почти не контролируется сознанием. Умение – способность выполнять ряд упорядоченных операций, имеющих общую цель. Умение может быть усвоено с разной

степенью совершенства, но его выполнение всегда контролируется сознанием [6]. Основными факторами, влияющими на становление и поддержание навыков в процессе обучения космонавтов на ТСПК, является выбор оптимального количества повторений полетной операции  $n(O_i)$  и нештатной ситуации  $n(A_i)$  в программе подготовки.

На становление навыков и умений непосредственно влияют индивидуальные психофизиологические характеристики космонавта [1–2, 6]. В процессе каждой тренировки проверяется усвоение знаний, навыков и умений, прививаемых членам экипажа лунной экспедиции. На основании текущих показателей качества деятельности космонавта  $X$  при выполнении программы тренировки на комплексных и специализированных тренажерах ПКА инструктор может принимать решение об оперативном перепланировании тренировки либо изменении программы последующих тренировок.

Для определения основных управляющих параметров подготовки экипажей лунных экспедиций на комплексных и специализированных тренажерах необходимо рассмотреть схему управления подготовкой экипажей на тренажерах (рис. 3), представляющую собой взаимодействие главных дидактических отношений космонавта, инструктора и содержания обучения [2, 6]. На схеме ТСПК включает в себя: тренажные средства, средства управления ТСПК, технические и программные средства, предназначенные для автоматизации подготовки экипажей на тренажерах.

Основными параметрами схемы управления подготовкой экипажей лунных экспедиций на тренажерах являются (2): текущие показатели космонавта в процессе данной тренировки  $X$ , управляющие воздействия  $U$ , воздействие среды  $F$ , показатели подготовленности (обученности) космонавта  $I$ , корректирующие воздействия  $K$ .

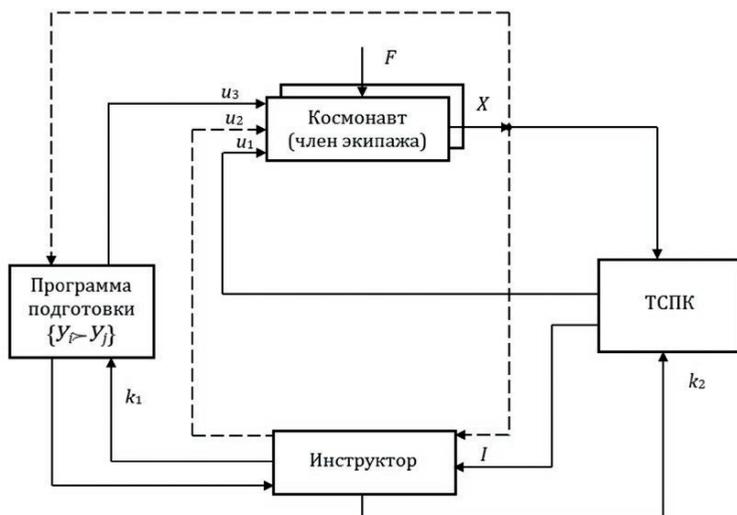


Рис. 3. Схема управления подготовкой экипажей на тренажерах

Данные параметры являются агрегированными и могут распадаться на совокупность показателей.

1.  $X$  – текущие показатели космонавта как объекта управления в процессе тренировки, к ним можно отнести [1, 6, 11]:

- $x_1$  – уровень усвоения знаний, навыков и умений в процессе обучения:
  - $x_{11}$  – уровень усвоения знаний;
  - $x_{12}$  – уровень усвоения навыков;
  - $x_{13}$  – уровень усвоения умений;
- $x_2$  – затраты времени на усвоение задания;
- $x_3$  – количество усваиваемой информации;
- $x_4$  – количественные показатели выполнения упражнения (точность стыковки, скорость касания, точность посадки на поверхность Луны и т.п.);
- $x_5$  – индивидуальные психофизиологические показатели (способности, темперамент, характер);
- $x_6$  – мотивационные показатели.

2.  $U(u_1, u_2, u_3)$  – управляющие воздействия, вырабатываемые средствами ТСПК по лунной программе, инструктором или самостоятельно космонавтом с целью управления процессом подготовки:

- $u_1$  – управляющие воздействия, вырабатываемые средствами ТСПК для формирования с использованием тренажных средств вектора состояния  $S_{<\chi>} = [s_1, s_2, \dots, s_\chi]$  наблюдаемых параметров лунного ПКА;
- $u_2$  – управляющие воздействия, вырабатываемые инструктором, которые реализуются в процессе оперативного планирования или перепланирования путем изменения циклограммы тренировки  $U_k^T$ ;
- $u_3$  – управляющие воздействия, вырабатываемые на основании программы подготовки с учетом влияния самого космонавта на содержание подготовки.

3.  $I$  – показатели подготовленности (обученности) космонавта. К показателям обученности могут относиться: уровень подготовленности экипажа (объемы проведенных занятий)  $L$ , оценка за тренировку  $K_{\text{ТР}}$ .

4.  $K(k_1, k_2)$  – корректирующие воздействия:

- $k_1$  – корректировка программы подготовки;
- $k_2$  – корректировка работы ТСПК (изменение работы тренажного комплекса, программных средств).

5.  $F$  – внешние возмущающие воздействия среды, к которым можно отнести:

- $f_1$  – эмоциональные возмущающие воздействия (уверенность космонавта в важности обучения, социальное влияние, моральная поддержка и т.п.);
- $f_2$  – количество и качество тренажных средств обучения, их готовность к началу подготовки экипажей лунных экспедиций;
- $f_3$  – сбои тренажных средств обучения из-за ненадежности и неправильных действий космонавта;

- $f_4$  – необходимости доработки тренажных средств обучения из-за изменений программы освоения Луны, требований нового режима полета (выполняемого эксперимента и т.п.), не учитываемого тренажным комплексом;
- $f_5$  – отсутствие согласования тренажных средств обучения с другим оборудованием;
- $f_6$  – степень подготовленности инструкторского состава по лунной программе.

## Создание технических средств подготовки космонавтов

Сценарии полетов лунных экспедиций могут включать разнообразные этапы: выведение на низкую орбиту вокруг Земли, выполнение стыковки транспортного пилотируемого корабля к разгонному блоку на орбите Земли (в случае отдельного выведения ПТК и РБ), полет к Луне, выход на окололунную орбиту, полет по орбите Луны, стыковка с лунной орбитальной станцией, сборка лунного комплекса на орбите Луны, посадка взлетно-посадочного комплекса на Луну, высадка экипажа на поверхность Луны и выполнение работ по программе высадки, передвижение по поверхности Луны, строительство лунной базы, выполнение работ на постоянно действующей (долговременной) базе (обсерватории) на Луне, старт ЛВПК с Луны, стыковка с ПТК на орбите Луны, возвращение на Землю со скоростью, близкой ко второй космической [14]. Подготовка членов экипажей лунных экспедиций потребует создания ТСПК к выполнению перечня полетных операций уже к началу подготовки.

Технические средства подготовки космонавтов должны создаваться с учетом перечня обрабатываемых операций  $\{O_{in}\}$  и обеспечивать необходимое качество подготовки экипажей лунных экспедиций (1).

Создаваемые ТСПК в рамках лунной программы могут быть оценены следующими показателями. В соответствии с (1) за **показатель качества** тренажера можно принять [2]:

$$W_{\text{эф тспк}} = \frac{\sum_{i=1}^N P(O_i) \alpha_{\text{зн}}(O_i)}{C_{\text{тспк}}}, \quad (6)$$

где  $P(O_i)$  – требуемая вероятность выполнения космонавтом в полете обрабатываемой на тренажере  $i$ -й операции;

$\alpha_{\text{зн}}(O_i)$  – значимость для выполнения программы полета  $i$ -й операции, обрабатываемой на тренажере;

$C_{\text{тспк}}$  – затраты на создание и эксплуатацию тренажера.

Необходимо отметить, что данный показатель характеризует не только перечень необходимых для отработки операций с учетом их значимости для выполнения программы полета, но и учитывает затраты на создание технических средств. В связи с необходимостью обязательной отработки особо важных операций (например, стыковка, посадка на поверхность пла-

неты и т.п.), с учетом огромных абсолютных затрат на выполнение лунной программы, стоимость затрат на создание и эксплуатацию ряда ТСПК может не учитываться (*мнение автора*).

За **показатель адекватности** тренажера можно принять [1]:

$$n_{\text{адек ТСПК}} = \frac{N_{\text{ТСПК}}}{N_{\text{ПКА}}}, \quad (7)$$

где  $N_{\text{ТСПК}}$  – число информационных признаков, формируемых ТСПК;  
 $N_{\text{ПКА}}$  – число информационных признаков, формируемых реальным лунным ПКА.

К одним из важных показателей, необходимым для учета при подготовке космонавтов, является **показатель пропускной способности** тренажера. Показатель пропускной способности позволяет рассчитать, сколько экипажей возможно одновременно готовить на ТСПК в течение заданного на подготовку времени  $T_{\text{п}}$  с учетом количества требуемых тренировок  $K_{\text{тр}}$  и длительности одной тренировки  $T_{\text{тр}}$ :

$$n_{\text{ПС ТСПК}} = \frac{T_{\text{п}}}{q K_{\text{тр}} T_{\text{тр}}}. \quad (8)$$

При расчете необходимо введение коэффициента  $q$  ( $q > 1$ ), учитывающего необходимость выделения дополнительного времени на обслуживание тренажера.

## Выводы

1. Управление процессом подготовки экипажей лунных экспедиций в условиях коррекции перспективных программ освоения Луны должно проводиться с использованием методов адаптивного управления на основе 60-летнего опыта подготовки космонавтов. Опыт подготовки космонавтов по отечественным пилотируемым программам учитывает подготовку космонавтов в составе транспортных пилотируемых кораблей и в составе экипажей орбитальных пилотируемых комплексов.

2. В основу управления процессом подготовки экипажей лунных экспедиций может быть положена полетная операция как основная оперативная единица деятельности экипажа в процессе полета. Программы подготовки экипажей ПКА по лунной программе на ТСПК будут представлять собой последовательность тренировок, которые включают в себя упорядоченный определенным образом набор полетных операций и нештатных ситуаций. Качество подготовки экипажей лунных ПКА основывается на вероятности выполнения всего набора предполагаемых полетных операций экипажем. Чем больше значимость полетной операции для выполнения программы полета, тем выше требования к подготовке по данной операции.

3. Для формирования программ подготовки, управления подготовкой в процессе проведения тренировок на ТСПК должен быть сформирован предполагаемый перечень полетных операций и нестандартных ситуаций с учетом их значимости для выполнения программы полета, требованиями по необходимому нормативному числу их повторений в процессе отработки.

4. Создание технических средств подготовки космонавтов должно обеспечивать требуемую эффективность подготовки космонавтов, предусматривающую выполнение программы полета и безопасную деятельность членов экипажей лунных экспедиций. Представлены показатели ТСПК: показатель качества, показатель адекватности, показатель пропускной способности ТСПК.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Авиационные тренажеры / В.А. Боднер, Р.А. Закиров, И.И. Смирнова. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
- [2] Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов / Л.С. Демин, Ю.Г. Жуковский, А.П. Семенин и др.; Под ред. В.Е. Шукшунова. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
- [3] Основные положения федеральной космической программы 2016–2025, утверждены постановлением Правительства РФ от 23 марта 2016 г. № 230.
- [4] Ярополов В.И. Методы оценки тренированности космонавтов при проведении подготовки экипажей Международной космической станции / А.А. Курицын, В.И. Ярополов, В.А. Копнин и др. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(31). – 2019. – С. 44–62.
- [5] Егоров А.И. Основы теории управления. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 504 с.
- [6] Кубасов В.Н. и др. Профессиональная подготовка космонавтов. – М.: Машиностроение, 1985. – 97 с.
- [7] Подиновский В.В. Методы многокритериальной оптимизации. – М.: ВИА им. Ф.Э. Дзержинского, 1971. – 93 с.
- [8] Подиновский В.В. Лексикографические задачи оптимизации. – М.: ВИА им. Ф.Э. Дзержинского, 1972. – 111 с.
- [9] 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. – Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 902 с.
- [10] Теоретические основы автоматизированного управления: Учеб. для вузов / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский, В.Д. Чертовский. – М.: Высш. шк., 2006. – 463 с.
- [11] Определение основных управляющих параметров подготовки экипажей Международной космической станции на комплексных и специализированных тренажерах / Курицын А.А., Онуфриенко Ю.И., Ковинский А.А., Копнин В.А. // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(20). – 2016. – С. 32–40.
- [12] Сохин И.Г. Комплексная подготовка экипажей МКС как управляемый технологический процесс. Монография. – Звездный городок: РГНИИЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2007. – 178 с.
- [13] Курицын А.А. Методы и средства автоматизированного управления технологическим процессом комплексной подготовки экипажей орбитальных пилоти-

- руемых комплексов. Монография. – Звездный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2011. – 280 с.
- [14] Об особенностях профессиональной деятельности космонавтов при осуществлении лунных миссий / Крючков Б.И., Усов В.М., Ярополов В.И., Сосюрка Ю.Б., Троицкий С.С., Долгов П.П. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(19). – 2016. – С. 35–57.
- [15] Емельянов В.В. Имитационное моделирование систем: Учеб. пособие / В.В. Емельянов, С.И. Ясиновский – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 584 с.

## REFERENCES

- [1] Flight simulators / V.A. Bodner, R.A. Zakirov, I.I. Smirnova. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – p.192.
- [2] Automated learning systems for vocational training of aircraft operators / L.S. Demin, Yu.G. Zhukovsky, A.P. Semenin et al.; Edited by V.E. Shukshunov. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – p. 240.
- [3] The main provisions of the Federal Space Program 2016–2025, approved by the Government of the Russian Federation on March 23, 2016. No 230.
- [4] Yaroplov V.I. Methods for evaluation of cosmonaut preparedness level when training crews of the International Space Station / A.A. Kuritsyn, V.I. Yaroplov, V.A. Kopnin et al. // Scientific Journal Manned Spaceflight. – No 2(31). – 2019. – pp. 44–62.
- [5] Egorov A.I. Fundamentals of control theory. – Moscow: FIZMATLIT, 2007. – p. 504.
- [6] Kubasov V.N. and others. Cosmonauts' professional training. – Moscow: Mashinostroenie, 1985. – p. 97.
- [7] Podinovskiy V.V. Multi-objective optimization methods. – Moscow: Military Academy named after F.E. Dzerzhinsky, 1971. – p. 93.
- [8] Podinovskiy V.V. Lexicographic optimization tasks. – Moscow: Military Academy named after F.E. Dzerzhinsky, 1972. – p. 111.
- [9] Solovyov V.A. Space flight control: textbook in 2 parts / V.A. Soloviev, L.N. Lysenko, V.E. Lyubinsky; under general ed. of L.N. Lysenko. – Bauman MSTU Publ., 2009. – p. 902.
- [10] Heoretical foundations of automated control: tutorial for universities / B.Ya. Sovetov, V.V. Tsekhanovskiy, V.D. Chertovskiy. – Moscow: High School, 2006. – p. 463.
- [11] Defining the main control parameters of the ISS crew training on integrated and dedicated simulators / Kuritsyn A.A., Onufrienko Yu.I., Kovinsky A.A., Kopnin V.A. // Scientific Journal Manned Spaceflight. – 2016. – No 3(20). – pp. 32–40.
- [12] Sokhin I.G. Integrated training of ISS crews as a controlled technological. Monograph. – Star City: Yu.A. Gagarin Cosmonaut Training Center, 2007. – p. 178.
- [13] Kuritsyn A.A. Methods and techniques of computer-aided process control of spacecraft crews' integrated training. Monograph. – Star City: Yu.A. Gagarin Cosmonaut Training Center, 2011. – p. 280.
- [14] On the features of professional activity of cosmonauts when implementing lunar missions / Kryuchkov B.I., Usov V.M., Yaroplov V.I., Sosyurka Yu.B., Troitskiy S.S., Dolgov P.P. // Scientific Journal Manned Spaceflight. – No 2(19). – 2016. – pp. 35–57.
- [15] Emelyanov V.V. System simulation: Tutorial / V.V. Emelyanov, S.I. Yasinovskiy – Moscow: Bauman MSTU Publ, 2009. – p. 584.