

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78.007

DOI 10.34131/MSF.20.4.5-27

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ ОТБОРА КОСМОНАВТОВ В СВЕТЕ ПРЕДСТОЯЩИХ ЗАДАЧ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ ПРОГРАММ

Б.И. Крючков, М.М. Харламов, В.М. Усов, Р.Р. Каспранский,
Л.М. Королев, А.И. Крылов, Е.А. Спирин, В.Г. Назин

Докт. техн. наук Б.И. Крючков; канд. экон. наук М.М. Харламов;
докт. мед. наук В.М. Усов; канд. мед. наук Р.Р. Каспранский;
докт. психол. наук Л.М. Королев; канд. техн. наук А.И. Крылов;
канд. физ.-мат. наук Е.А. Спирин; канд. техн. наук В.Г. Назин
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Назревшая необходимость анализа действующей системы отбора космонавтов с точки зрения потребностей ее развития (модернизации) и разработки комплекса требований к профессионалу, которому предстоит освоить широкий круг задач перспективных полетов за пределами земных орбит, связана с недостаточной изученностью и освещенностью в литературе особенностей предстоящей деятельности экипажа, условий труда и сопутствующих рисков для работоспособности и здоровья человека. Преодоление возникших трудностей возможно с привлечением методологии профессиографических исследований с акцентированным вниманием к ранее не освоенным режимам функционирования человеко-машинных систем, новому инструментарию выполнения задач и к адаптационным способностям человека. Показаны возможности информационных технологий для совершенствования ряда процедур отбора. **Ключевые слова:** перспективные пилотируемые программы, освоение Луны, модели отбора космонавтов, задачи и методики тестирования.

Conceptual Approaches to the Cosmonaut Selection System in Terms of Forthcoming Tasks of Future Manned Space Programs. B.I. Kryuchkov, M.M. Kharlamov, V.M. Usov, R.R. Kaspransky, L.M. Korolev, A.I. Krylov, E.A. Spirin, V.G. Nazin

The urgent need to analyze the current cosmonaut selection system from the point of view of developing a set of requirements for a professional who will have to master a wide range of tasks for future flights beyond Earth's orbits is associated with insufficient knowledge of the features of forthcoming crew activities, working conditions and associated risks for human performance and

health. The existing difficulties can be overcome using the methodology of job analysis with an emphasis on the previously not mastered functioning modes of human-machine systems, new instrumentarium for task performing and humans' adaptive capacity. Information technology resources for improving a number of selection procedures are discussed in the paper.

Keywords: future manned space programs, lunar exploration, cosmonaut selection models, tasks and test techniques.

1. Существующая система отбора космонавтов

Действующая система отбора космонавтов является итогом 60-летнего опыта, полученного при осуществлении множества пилотируемых космических программ в нашей стране. Особенности ее развития за прошедшие годы достаточно подробно рассмотрены в работах [1, 2]. Концепция формирования, структура, содержание и порядок функционирования системы отбора отвечают современным требованиям, предъявляемым к обеспечению профессиональной квалификации экипажей пилотируемых космических аппаратов (ПКА) типа «Союз» и российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), изложенным в соответствующих нормативных документах. Общая структурная схема профессионального отбора является многокомпонентной и многоуровневой системой (рис. 1).

С 2012 года в Российской Федерации осуществляются открытые конкурсные отборы космонавтов, порядок проведения которых к настоящему времени отработан, что нашло отражение в работе [3].



Рис. 1. Система отбора космонавтов

Действующая система отбора космонавтов представляет собой структуру, объединяющую нормативно-правовую, организационно-методическую и научную базы отбора, а также средства материально-технического обеспечения. Открытые конкурсы обеспечивают отбор кандидатов в состав отряда космонавтов Роскосмоса из числа претендентов, добровольно изъявивших желание участвовать в отборе.

Существует определенная последовательность процедур таких отборов. Она включает: 1) принятие решения «МВК по отбору...» о необходимости очередного набора в отряд космонавтов; 2) объявление Госкорпорацией «Роскосмос» конкурса об отборе космонавтов; 3) прием документов от претендентов на отбор и их обработка в НИИ ЦПК; 4) осуществление процедур очного профессионального отбора в НИИ ЦПК; 5) решение «МВК по отбору...» о зачислении отобранных кандидатов в отряд космонавтов.

Отбор кандидатов на полеты в космос из числа претендентов является лишь первым этапом отбора космонавтов. После зачисления отобранных лиц в отряд космонавтов, им предстоит пройти, до включения в экипаж для полета на конкретном ПКА, еще целый ряд процедур так называемого пролонгированного отбора (рис. 2). По сути, пролонгированный отбор обеспечивает непрерывное изучение состояния и уровня развития профессионально

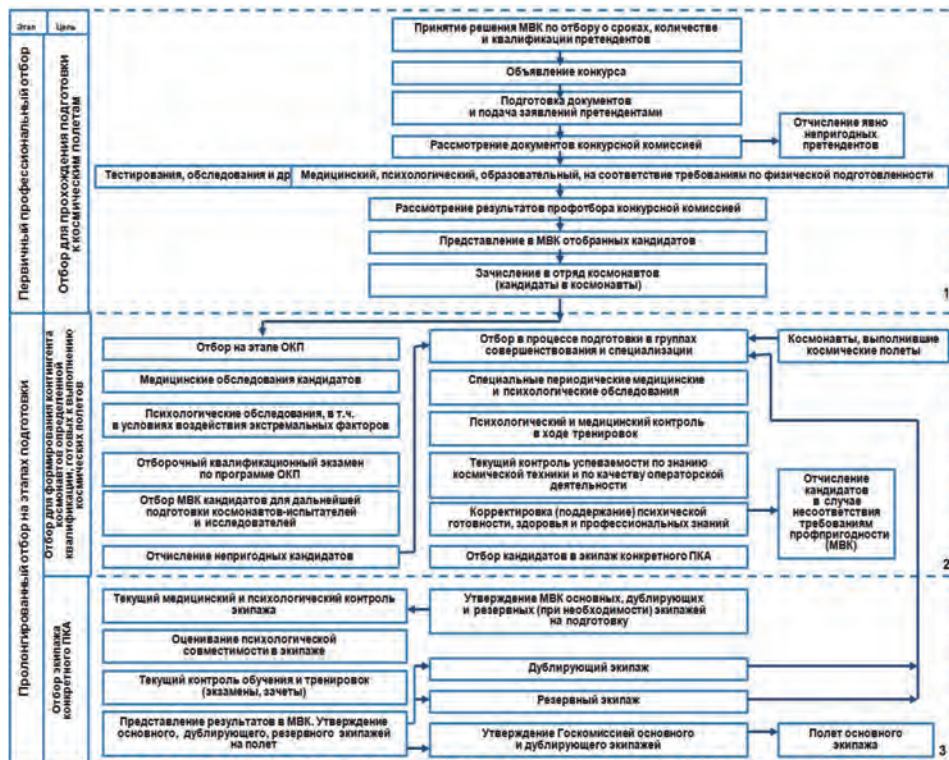


Рис. 2. Этапы и содержание профессионального отбора космонавтов

важных качеств (ПВК) личности космонавта, начиная с первичного отбора кандидата в космонавты до назначения его уже в качестве космонавта в экипаж. При этом осуществляется устойчивое взаимодействие систем отбора космонавтов с системами подготовки и обеспечения космических полетов. Система пролонгированного отбора космонавтов охватывает все этапы подготовки космонавтов: общекосмической, подготовки в составе групп специализации и совершенствования, подготовки в составе основных и дублирующих экипажей. Именно на этих этапах происходит дальнейшее развитие ПВК космонавтов и осуществляется их корректировка.

Общая структура существующей модели отбора космонавтов применительно к обеспечению полетов на околоземных орбитах и место в ней элементов открытых конкурсных и пролонгированных отборов показаны на рисунке 3.

Существующая система отбора космонавтов имеет достаточно хороший потенциал для своего развития как в отношении перспективных полетов на околоземных орбитах, так и в отношении полетов в окололунное пространство, на Луну и в дальний космос.



Рис. 3. Структура модели отбора космонавтов для полетов на околоземные орбиты

2. Проблемы и особенности отбора космонавтов для перспективных космических программ

Особые условия экстремальной среды обитания за пределами земных орбит, положение Луны, Марса, астероидов в космическом пространстве, их геолого-географические характеристики, новые задачи, возлагаемые на космонавтов в ходе выполнения космических миссий, возможные риски их осуществления согласно ряду исследований [5, 6, 7, 12, 15, 16] выдвигают особые требования к отбору кандидатов в экипажи соответствующих ПКА.

В качестве примера в таблице 1 [4, 13, 17] показаны способы учета при отборе космонавтов некоторых особенностей перспективных космических программ, связанных либо с деятельностью экипажей, либо с влиянием условий экстремальной среды обитания, в которой работают космонавты.

Таблица 1

Возможности учета при отборе космонавтов особенностей новых пилотируемых миссий

Особенность экспедиции	Опасности, возможные отклонения от нормы в ходе полетной деятельности экипажей	Как учесть при отборе
Невозможность срочного возвращения на Землю в случае возникновения нештатных ситуаций (НшС) при выполнении лунной миссии или полета на Марс	1. Проблемы оказания экстренной медицинской помощи членам экипажа. 2. Проблемы получения консультаций с Земли при НшС из-за задержек связи (длительное – от 3 до 22 мин при прохождении радиосигнала от Земли к Марсу или обратно)	1. Отбор врачей в состав экипажей. 2. Отбор в состав экипажей кандидатов, у которых отсутствуют заболевания или предпосылки к ним, которые могут обостриться в космическом полете. 3. Отбор в состав экипажа кандидатов, способных к самостоятельной автономной деятельности в условиях длительного полета
Возвращение на Землю со второй космической скоростью	Угол входа спускаемого аппарата (СА) в атмосферу более 7° (возможность СА «зарыться» в атмосферу и испытать опасные для экипажа перегрузки в 20 g и более). Возможность травмирования или гибели членов экипажа	Отбор в экипаж космонавтов, способных к перенесению воздействия значительных перегрузок в направлении грудь–спина. Согласно работе [25] по перенесению человеком перегрузок до 12 g можно сделать заключение с помощью модельно-расчетных методов о перенесении им перегрузок до 20 g и более
Проведение геологических исследований на планете, астероиде	Невыполнение программы из-за недостаточной квалификации космонавтов	Отбор специалистов с образованием в сфере геологических наук
Наличие пыли на поверхности Луны или Марса	Негативное аллергическое влияние пыли на здоровье космонавта	Отбор космонавтов, устойчивых к аллергическому действию планетной пыли
Большие физические нагрузки при внекорабельной деятельности (ВКД) на планете	Нарушения здоровья, угроза срыва выполнения программы работ	Отбор космонавтов в экипаж с учетом их физической готовности, гарантирующей высокую работоспособность при длительной многоплановой ВКД

На основе выполненного в работах [6, 7, 13, 14, 15, 18] анализа подобных особенностей лунных миссий и специфических задач, решаемых в них экипажами ПКА, может быть сформирован перечень качеств, которые должны оцениваться при отборе космонавтов (табл. 2). Некоторые из рассматриваемых качеств могут быть сформулированы в виде обязательных требований и предъявляться уже на этапе первичного отбора претендентов.

Таблица 2

Состав оцениваемых качеств кандидатов при отборе в лунные миссии

Функциональные и операторские	<ul style="list-style-type: none"> • Способность в условиях автономной деятельности выполнять операторские и научные задачи и функции на больших расстояниях от Земли, вне зон (или ограничений) радиовидимости, на сложных траекториях полета, в точках либрации, на Луне и окололунных орбитах; • опыт самостоятельной работы со сложными техническими комплексами; • управление робототехническими комплексами, транспортными средствами
Психофизиологические	<ul style="list-style-type: none"> • Самообладание, выдержка, эмоциональная уравновешенность в условиях длительной деятельности на большом удалении от Земли и воздействия экстремальных факторов; • выносливость при большом объеме ВКД на Луне при гравитации $1/6 g$ и сложном рельефе поверхности; • устойчивость (переключаемость) и объем внимания; • психическое утомление
Физические	<ul style="list-style-type: none"> • Основные физические качества (выносливость, сила, быстрота, гибкость, ловкость); • специальные физические качества (устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов космического полета, способность эффективно тренироваться в полете с целью поддержания физической готовности)
Медико-физиологические	<ul style="list-style-type: none"> • Адаптация организма к труду в экстремальных условиях; • уровень физической работоспособности; • биомеханические возможности человека к длительному поддержанию позы стоя при минимальном утомлении соответствующих мышечных групп
Образовательно-культурологические	<ul style="list-style-type: none"> • Знание физических и геолого-географических характеристик и свойств Луны, свойств окололунного пространства; • знание историко-технических аспектов освоения Луны космическими средствами
Интеллектуальные	<ul style="list-style-type: none"> • Умение понимать и оценивать научную информацию из различных областей науки; • знание технологий виртуальной реальности; • знание технологий робототехники; • наличие практической направленности интеллекта
Личностные	<ul style="list-style-type: none"> • Способность работать в экипаже в автономных условиях; • умение организовать коллективную деятельность; • отсутствие тревожности в условиях длительной автономной работы и при возникновении НшС

Указанные качества должны оцениваться как в ходе первичных процедур отбора претендентов (медицинского, психологического, образовательного, на соответствие физическим требованиям), так и в рамках пролонгированного отбора.

Содержание этих процедур, последовательность применения, используемые аппаратные средства и методы должны соответствовать определенным моделям, специфика которых будет определяться спецификой новых пилотируемых миссий.

3. Модели отбора космонавтов для обеспечения лунных миссий и полетов в дальний космос

Одним из преимуществ существующей системы отбора космонавтов является возможность ее адаптации для обеспечения пилотируемых программ в окололунном пространстве и на Луне [2].

На рисунке 4 представлена общая структура модели отбора космонавтов для выполнения лунных миссий. Она укрупненно отражает и содержание задач отбора, и их последовательность. Блок 1 решает задачу формирования исходных данных; блок 2 реализует этап конкурсного отбора претендентов; блок 3 обеспечивает оценивание профессиональных качеств космонавтов, планируемых для включения в состав экипажей лунных миссий в рамках пролонгированного отбора; блок 4 отвечает за заключительный этап пролонгированного отбора космонавтов в состав лунных миссий. Ввиду их уникальности с целью более надежного выполнения полетов должны формироваться не только основные и дублирующие экипажи, но и резервные. В ряде отечественных пилотируемых программ такой опыт уже был, например, в программе «Союз–Аполлон» (1975 г.), программе полетов на РС МКС (2020 г.). Блоки 5 и 6 обеспечивают обратную связь – они позволяют уточнять модель отбора по результатам опыта космических полетов на Луну и в окололунное пространство.

Блок 1 формирования исходных данных предусматривает выполнение всех процедур, предшествующих собственно отбору космонавтов. Функционально он состоит из шести элементов (рис. 5). Его аналитическая составляющая отвечает за разработку направленности и процедур профессиографического анализа, формирование состава профессионально важных



Рис. 4. Состав модели отбора космонавтов для обеспечения лунных миссий

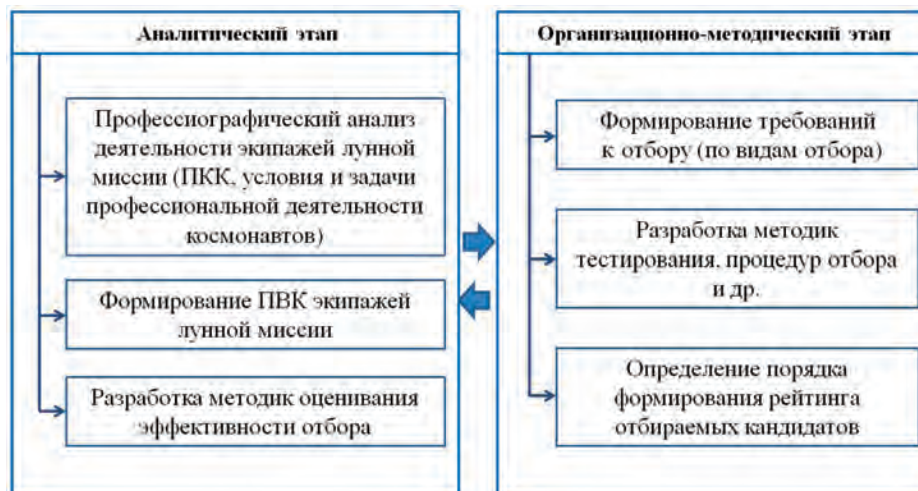


Рис. 5. Структура блока (блок 1) формирования исходных данных

качеств (ПВК), формирование требований к кандидатам, разработку методов оценивания эффективности отбора. Организационно-методическая составляющая этого блока формирует многоуровневую структуру правил, обеспечивающих отбор на всех его этапах.

Особое внимание при формировании данного блока должно быть обращено на следующие основные факторы, определяющие специфику лунных миссий [6, 12, 16]:

- большая удаленность от Земли;
- высокая автономность работы экипажа;
- невозможность экстренной эвакуации в случае аварийных ситуаций;
- большой объем ВКД;
- негативное влияние на человека экстремальной среды обитания – радиации, лунной пыли, микрометеоритов и др.;
- высокие физические нагрузки;
- геолого-географические особенности лунного рельефа;
- высокий уровень интеллектуализации используемого оборудования (цифровизация ПКА и модулей лунной базы (ЛБ), применение робототехнических комплексов различных классов и др.);
- психологические факторы, определяющие поведение человека в условиях опасной среды обитания на больших удалениях от Земли.

Одним из важнейших специфических требований к экипажам лунных миссий должно быть требование к умениям осуществлять ручную посадку космического аппарата на поверхность Луны. Навыки выполнения таких операций будут отрабатываться, в том числе, и в процессе специальной летной подготовки космонавтов на вертолетах. Это значит, что кандидаты на включение в состав лунных миссий должны владеть навыками пилоти-

рования современных вертолетов. Как показывает опыт, навыки пилотирования вертолетов могут быть приобретены на втором этапе подготовки космонавтов. Однако уже на этапе первичного отбора претендентов с помощью определенных тестирований целесообразно выявление кандидатов, не способных к выполнению взлетно-посадочных режимов пилотирования летательных аппаратов.

Блок 2 проведения конкурсного отбора претендентов (рис. 6) принципиально не будет отличаться от типового, разработанного и апробированного уже в двух отборах 2012 и 2017 гг. для РС МКС [3]. В то же время, методики тестирования, используемые в рамках данного блока, должны обеспечивать проверку соответствия фактических качеств претендентов требуемым качествам экипажей лунных миссий (табл. 2). При этом их оценка должна проводиться при всех принятых видах отбора. Заключительная часть функционирования блока 2 – включение отобранных претендентов в состав действующего отряда космонавтов в статусе космонавт-испытатель или космонавт-исследователь.

Блок 3 тестирования космонавтов в моделируемых условиях деятельности в рамках лунных миссий показан на рисунке 7. Функционально он состоит из трех компонентов.

Необходимость блока 3 будет особенно значимой при отборе космонавтов для длительных лунных миссий, когда от профессиональных качеств и психологической совместимости членов экспедиции будет в значительной мере зависеть успех всего полета (экспедиции). Наличие этого блока вызвано



Рис. 6. Структура блока (блок 2) реализации процедур конкурсного отбора кандидатов в состав лунных экспедиций

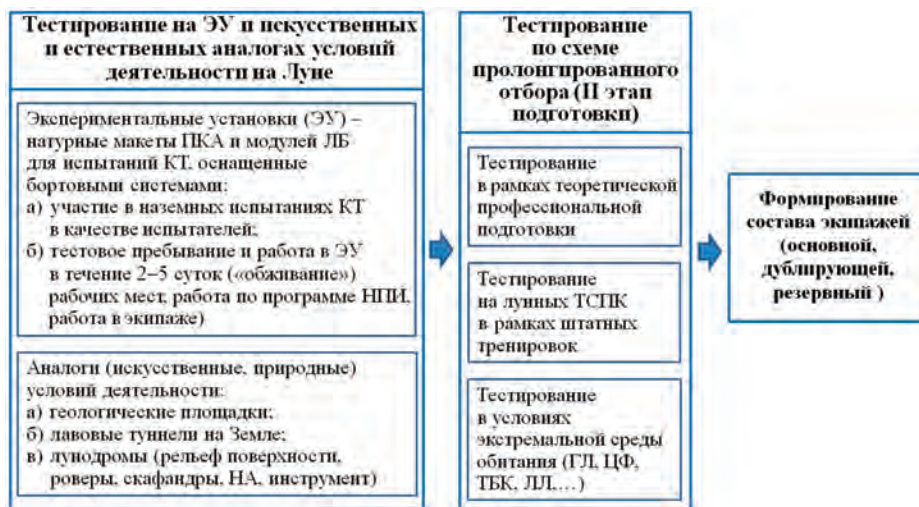


Рис. 7. Структура блока 3

(обозначения: КТ – космическая техника; НПИ – научно-прикладные исследования; ГЛ – гидролаборатория; ЦФ – центрифуга; ТБК – термобарокамера; ЛЛ – летающая лаборатория; НА – научная аппаратура; ТСПК – технические средства подготовки космонавтов)

рядом причин – большими рисками для жизни и здоровья экипажей лунных миссий, высокой стоимостью и уникальностью лунных проектов. В рамках данного блока планируется оценка профессиональных и психологических качеств кандидатов и их способностей длительно работать в составе экипажей в экстремальных условиях, близких к условиям деятельности на Луне. Рассматриваемые процедуры отбора целесообразно проводить на аналогах КТ (натурные макеты для экспериментальной отработки лунных ПКК, на практике называемые ЭУ – экспериментальные установки), а также естественных и искусственных аналогах условий деятельности на Луне [19].

Задачи отбора, предусмотренные в блоке 3, целесообразно решать в рамках пролонгированного отбора космонавтов на втором этапе подготовки. С учетом его результатов должен осуществляться отбор космонавтов в экипаж конкретной лунной миссии.

Ввиду отсутствия каких-либо исходных данных о проектах полетов человека в дальний космос, разработка моделей и технологий отбора космонавтов для их обеспечения в настоящее время представляется преждевременной. Однако, исходя из имеющегося отечественного и зарубежного опыта отбора космонавтов и астронавтов, можно предложить рациональную последовательность действий для разработки соответствующей системы отбора (рис. 8). Поскольку в рамках реализации лунных программ будет получен определенный опыт отбора космонавтов, возможен тот же подход, который предложен для создания системы отбора космонавтов для реализации лунных миссий. То есть, систему отбора для обеспечения лунных пилотируемых

проектов предлагается строить на принципах адаптации существующей системы отбора для околоземных орбит. В свою очередь система отбора космонавтов для обеспечения полетов в дальний космос может строиться на принципах адаптации соответствующей «лунной» системы под задачи полетов в дальний космос. Естественно, что в силу преемственности она будет включать хорошо зарекомендовавшие себя составляющие ныне действующей системы отбора.

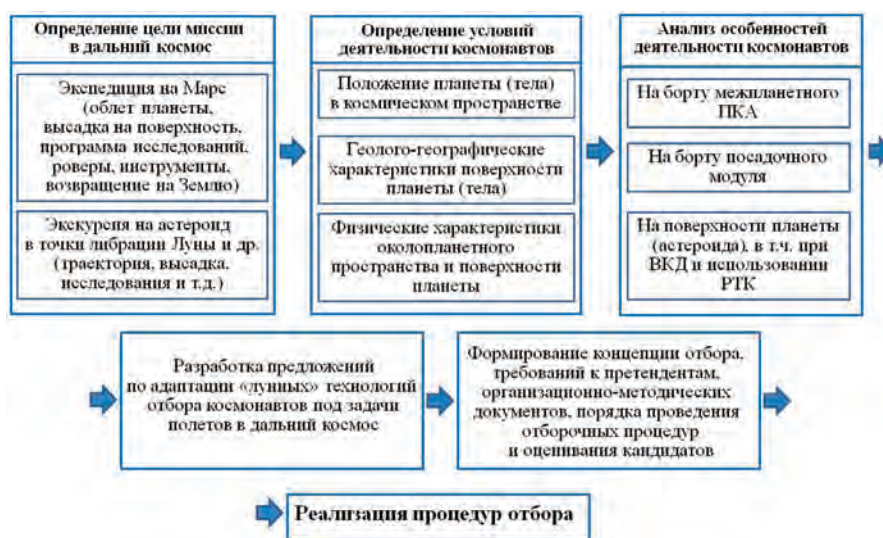


Рис. 8. Последовательность отбора космонавтов для обеспечения полетов в дальний космос

4. Некоторые перспективные подходы к отбору космонавтов

4.1 Возможности методов профессиографии

Профессиография – научная дисциплина, изучающая виды трудовой деятельности человека, условия и организацию трудового процесса, а также требования, которые они предъявляют человеку.

В процессе профессиографических исследований осуществляются описание профессий (составление профессиограмм) и их классификация по различным критериям (технологическим, экономическим, образовательным, медицинским, психологическим и др.). Особое внимание при этом уделяется противопоказаниям к работе по определенной профессии.

Одним из основополагающих принципов профессиографии является принцип дифференцированного изучения и описания характеристик трудовой деятельности, обусловленный разнообразием практических задач, специфическими особенностями самой деятельности, условиями ее протекания и целями научного познания [8].

Данный принцип является крайне важным при использовании методов профессиографии в интересах отбора космонавтов. Дифференцированное описание трудовой (профессиональной) деятельности экипажей ПКА необходимо осуществлять с учетом типа ПКА, условий деятельности космонавтов, их специализации и функций в экипаже. Под профессиональной деятельностью космонавта в данной работе будем понимать летно-космическую деятельность по разработке, конструированию, испытаниям (в том числе летно-конструкторским испытаниям) и эксплуатации космической техники, исследованию космоса (в том числе научные исследования в космическом полете), а также участие в практической деятельности по использованию космического пространства и небесных тел.

Вопросы профессиографических исследований приобретают большое значение при отборе космонавтов для полетов на Луну и в окололунное пространство. Этапы и содержание профессиографических исследований при отборе космонавтов для выполнения лунных миссий могут быть представлены в виде, показанном на рисунке 9. Задача профессиографических исследований в данном случае делится на несколько этапов.

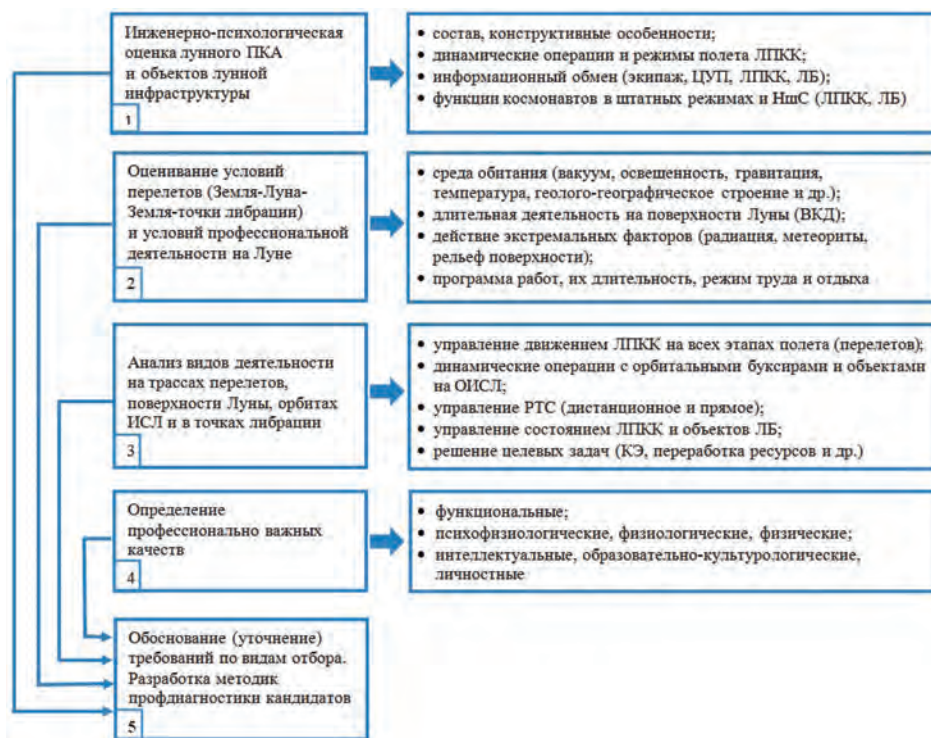


Рис. 9. Этапы и содержание профессиографических исследований при отборе космонавтов для выполнения лунных миссий (обозначения: ОИСЛ – орбита искусственного спутника Луны; ЛПКК – лунный пилотируемый космический комплекс; ЦУП – Центр управления полетами)

На первом этапе выполняется инженерно-психологическая оценка ПКА (конструктивных особенностей ПКА в целом, рабочих мест космонавтов, служебного и научного оборудования, информационного обмена, динамических режимов, функций космонавта в штатных режимах полета ПКА и в нештатных ситуациях и др.).

Результаты инженерно-психологической оценки ПКА позволяют определить место человека в системе «космонавт–ПКА». На втором этапе анализируются условия профессиональной деятельности космонавта (среда обитания, длительность полета, режим труда и отдыха, действие экстремальных факторов космического полета).

На третьем этапе с учетом этапов 1 и 2 анализируются собственно структура и виды деятельности космонавтов на данном типе ПКА, которые далее станут исходными данными для формирования требований к их операторским, интеллектуальным и физическим качествам.

На четвертом – на основании полученных данных, определяются профессиональные требования, то есть составляется перечень профессионально важных качеств, которые имеют решающее значение в трудовой деятельности космонавта.

Именно на этом этапе следует учитывать специализацию космонавтов в экипаже, поскольку на одном и том же ПКА, в одних и тех же условиях полета деятельность пилота, инженера, врача, ученого-исследователя и других членов экипажа может существенно отличаться друг от друга. Это значит, что и модели их профессиональной деятельности, представленные в виде профессиограмм, будут различны.

На пятом этапе на базе выявленных профессионально важных качеств и профессиональных требований обосновываются и разрабатываются методики тестирования, позволяющие оценивать способности кандидатов к профессиональной деятельности в лунных миссиях.

Деятельность космонавтов на борту ПКА строго регламентируется программой полета и бортовой документацией, определяющей их действия как в штатных режимах функционирования, так и в нештатных ситуациях. Поэтому при разработке профессиограмм следует особое внимание уделять нормативно-ориентированной основе труда экипажа. В случае нарушения им правил и норм эксплуатации ПКА возможны не только отказы оборудования, но и срыв программы полета, нанесение ущерба здоровью и даже гибель космонавтов или утрата ПКА.

Направленность профессиографирования при отборе должна носить диагностический характер, поскольку основная цель, преследуемая при этом, выявить такие характеристики кандидата в космонавты (космонавта), от которых будет зависеть успешное выполнение им профессиональной деятельности. Эти характеристики явятся основанием для разработки требований к кандидатам в космонавты и методик оценивания их ПВК при отборе.

4.2 Возможности применения автоматизированных экспертных систем

С целью реализации длительных полетов за пределы околоземных орбит необходимо решить задачу минимизации прогностических рисков профессиональной успешности будущих космонавтов. Поэтому, при отборе претендентов в отряд космонавтов, наряду с подходом в определении основных и дополнительных факторов профессиональной пригодности, включающих соответствующие им комплексы профессионально важных когнитивных и психологических качеств (табл. 1 и 2), необходимо уже на начальных этапах отбора выявлять латентный потенциал претендентов по способности к операторской деятельности. Для этого необходим глубинный анализ данных (Data mining) [10] по операторским качествам, который может быть достигнут при одновременном решении двух задач: применение методик тестирования с использованием инструментальных методов и технических средств, активирующих у тестируемого механизмы регуляции операторской деятельности в системе «человек–машина» и использование математических моделей, целостно описывающих объект – космонавта в процессе его профессиональной операторской деятельности. Решение первой задачи возможно на принципах юзабилити-тестирования. Вторая задача может быть решена с использованием критериально-ориентированного подхода, конвергирующего факторы профессиональной пригодности с ПВК личности.

Опыт впервые состоявшегося в 2012 году открытого конкурсного отбора в отряд космонавтов среди граждан разных профессий потребовал уже при отборе в 2017–2018 годах реализации критериально-ориентированного подхода к оценке способностей претендентов к операторской деятельности. С этой целью были разработаны и исследованы аппаратные методы на основе инструментальных информационно-измерительных средств, впоследствии составивших основу стендов для тестирования претендентов (рис. 5).

Апробированные методики тестирования на разнопрофильных и разновозрастных группах специалистов НИИ ЦПК позволили дифференцировать претендентов на этапе очного отбора в отряд космонавтов в 2017–2018 годах по способности к операторской деятельности и оценить общий уровень их технической эрудиции.

Анализ результатов тестирования выявил пути повышения эффективности инструментальных методов и средств, в частности, по оптимизации количества аппаратных средств и критерия оценки, времени тестирования и подходов к «шкалированию» самой оценки. Кроме того, было выявлено, что при выполнении тестов необходима дополнительная объективная связь в виде параллельной регистрации и оценки психофизического (психоэмоционального) состояния тестируемого.

Одним из направлений дальнейшего совершенствования инструментальных методов и средств в системе отбора космонавтов может стать использование критериально-ориентированных экспертных систем. Такие

системы позволят интегрировать методики с использованием инструментальных методов, математических моделей и психофизиологических средств (ПФС) контроля.

В предлагаемой экспертной системе реализуется принцип обратного юзабилити-тестирования, состоящий в том, чтобы определить наблюдаемые параметры и «эффекты» при активном иницировании претендентом пользовательского интерфейса тест-прибора. Такой подход образует афферентационные взаимосвязи, включая зрительный анализатор, мозг и функции мелкой моторики тестируемого, и, как следствие, позволяет адекватно оценивать умозрительную реакцию и общую эрудицию тестируемого. При этом средства ввода–вывода информационно-измерительных средств интерактивно «встраиваются» в афферентационное кольцо, образуя замкнутую структуру, подобную экспертной системе.

Агрегирование в афферентационное кольцо средств электронной регистрации контактных инструментальных ПФС (регистрации параметров дыхания, сердечно-сосудистой активности, электрического сопротивления кожи) и бесконтактных аудио- и видеодетекторов позволяет создать автоматизированную критериально-ориентированную экспертную систему (АКОЭС), структура которой приведена на рисунке 10.

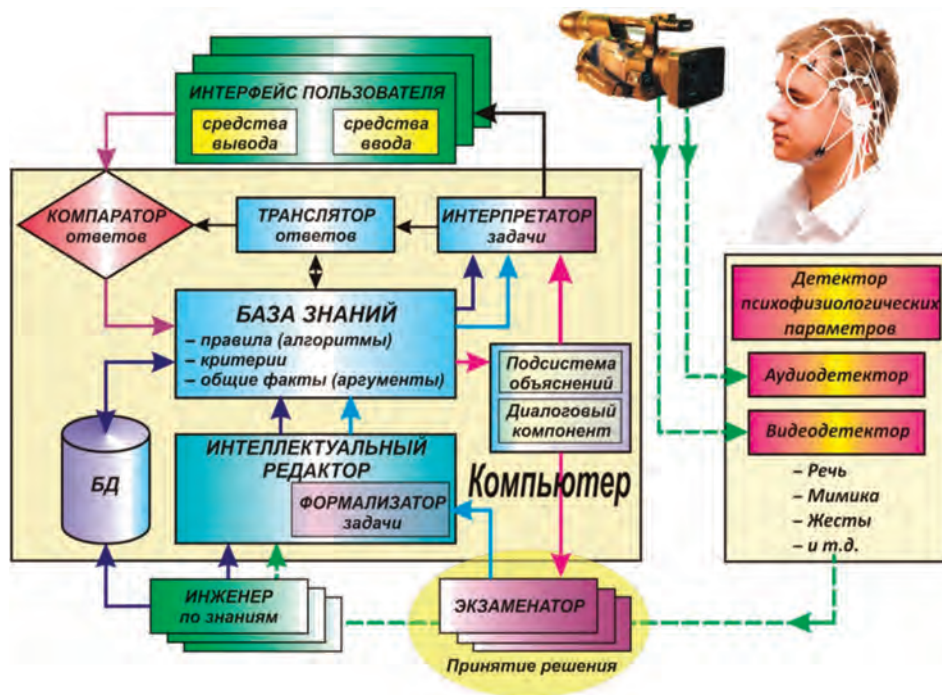


Рис. 10. Автоматизированная критериально-ориентированная экспертная система отбора претендентов

Предлагаемая АКОЭС позволяет обеспечить следующие основные функции:

- регистрацию информации и событий, происходящих на индикаторах, шкальных устройствах, экранах, и прочих средствах визуализации средств тестирования, связанных с действиями испытуемого;
- интерпретацию и верификацию ответов тестируемого;
- синхронизацию потоков данных для экспертной оценки и объективного анализа факторов, влияющих на эффективность, качество, точность, скорость и безопасность действий испытуемого;
- интеграцию с техническими средствами подготовки космонавтов.

Такая автоматизированная критериально-ориентированная экспертная система дает возможность частично заменить специалиста-эксперта при отборе «лучшего» и «своего» претендента, точнее и объективнее оценивая его способности к операторской деятельности, и исключить субъективности экспертных заключений. В этом случае «Лучший», то есть обладающий основными профессионально важными операторскими качествами, а «Свой» – профессионально ориентированный и мотивированный к операторской деятельности в условиях космоса.

Реализация предлагаемого концепта на основе IT-технологий и искусственного интеллекта позволит повысить эффективность отбора при проведении инструментальных психофизиологических исследований и минимизировать прогностические риски профессиональной успешности будущих космонавтов. Более того, разработка концепта в виде портативной критериально-ориентированной экспертной системы на базе планшетных компьютеров позволит дистанционно и/или автономно в длительных космических полетах тестировать членов экипажа по широкому спектру профессиональной способности. Основа такой разработки реализована в патенте «Способ и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора» космонавта [11].

4.3 Возможности использования ДНК-диагностики

Одним из новых и эффективных способов обследования претендентов может стать метод ДНК-диагностики.

Идея использования генетических методов исследований в интересах отбора космонавтов впервые была сформулирована специалистами ЦПК имени Ю.А. Гагарина в 2006 году в рамках темы «Отбор-2», выполняемой по заказу Роскосмоса. Однако далее она не прорабатывалась, поскольку в тот период при проведении отборов для полетов на орбитах ИСЗ в этом не было острой необходимости. Кроме того, из-за межведомственной разобщенности отрядов и групп космонавтов, ее реализация с единых позиций выглядела проблематичной. На предстоящем этапе развития пилотируемой космонавтики, связанном с полетами на планеты солнечной системы, могут быть начаты исследования по определению возможности использования методов

ДНК-диагностики для отбора космонавтов. Эти исследования могут быть направлены на решение следующих задач:

1) определение генетической предрасположенности к развитию заболеваний и состояний, ограничивающих профессиональное долголетие космонавтов, например, гипертонической болезни, нарушений, обозначаемых термином «метаболический синдром»;

2) определение генетической предрасположенности к развитию заболеваний, которые могут проявиться в результате комплексного воздействия неблагоприятных факторов длительных и сверхдлительных космических полетов (радиация, невесомость, изоляция, удаленность от Земли, планетная деятельность), в том числе в отдаленном периоде после космических полетов;

3) определение генетических факторов (маркеров), обуславливающих устойчивость организма космонавтов к воздействию факторов космического полета.

Первая задача актуальна и для клинической медицины, поэтому могут быть использованы научные разработки в области оценки генетических признаков предрасположенности к основным неинфекционным заболеваниям человека. Прежде всего это касается актуальных для космонавтов сердечно-сосудистых заболеваний, влияющих на устойчивость организма к воздействию факторов космического полета, таких как перегрузки, невесомость, физические нагрузки при внекорабельной деятельности и применении средств профилактики (ежедневные физические тренировки в течение 2 часов).

Вторая задача требует проведения генетических исследований в сопоставлении с анализом особенностей выполненных космонавтом космических полетов. В настоящее время уже имеются некоторые результаты подобных исследований. Они касались генетической предрасположенности к появлению патологических изменений в организме при воздействии факторов космического полета, в частности, к снижению слуха [20] и снижению плотности костной ткани [21]. Решение этой задачи будет важным для успеха миссии, здоровья членов экипажа в полете, а также в отдаленном послеполетном периоде.

По третьей задаче также выполнялись исследования. При помощи традиционных методов корреляционного анализа были обнаружены слабые, но статистически достоверные связи между параметром индивидуальной гетерозиготности и показателями вестибулярной устойчивости, а также с итоговым показателем устойчивости к моделируемым факторам космического полета [22]. Имеется также работа, выполненная применительно к работникам атомной промышленности, но актуальная для космических полетов за пределами низких околоземных орбит. Она касается генетических маркеров устойчивости и чувствительности человека к радиационному воздействию [23].

При внедрении генетических методов в практику отбора необходимо учитывать ограничения законодательства и биоэтические нормы.

Для примера, каким образом законодательные акты и биоэтические требования могут повлиять на внедрение генетических методов, можно привести документы НАСА и США. В политической директиве НАСА NPD 7170.1 «Использование генетического тестирования в исследованиях на людях» указано, что генетические исследования могут проводиться для:

- идентификации медицинских рисков при исследовании космоса;
- разработки технических требований к космическим аппаратам;
- уменьшения опасности космического пространства;
- разработки и оценки мер противодействия риску для здоровья в космосе;
- профессионального надзора;
- индивидуального подбора средств защиты;
- информирования о клинической помощи.

В то же время политика НАСА заключается в том, чтобы не использовать генетическую информацию для принятия решений по отбору, подготовке и подбору астронавтов в экипаж. Это ограничение связано с необходимостью выполнения исполнительного указа № 13145 президента США о запрете дискриминации в федеральной занятости на основе генетической информации 2000 г. и Закона о недискриминации в отношении генетической информации (GINA) 2008 г. Выполняя требования законодательства, НАСА уже удалило вопросы, касающиеся семейной истории болезни (которая считается генетической информацией) из своих процессов отбора астронавтов [24].

Несмотря на возможные существующие и будущие ограничения, исследования возможности использования генетических показателей в практике отбора и медицинского обеспечения космического полета должны продолжаться, так как конечной их целью является обеспечение безопасности полета и сохранение здоровья членов космических экипажей.

4.4 Возможности использования полиграфа

В интересах реализации комплексного подхода при отборе космонавтов, способствующего исключению вероятностных факторов риска и негативных проявлений в будущей профессиональной деятельности, рассматриваются возможности повышения качества методик тестирований и инструментального обеспечения процедур первичного профессионального отбора кандидатов в космонавты за счет использования полиграфа как специального психофизиологического метода выявления необходимой информации.

Сущность данного психофизиологического исследования состоит в использовании знаний, навыков и умений, а также специальных технических средств, не наносящих ущерба жизни и здоровью людей, обеспечивающих осуществление анализа психофизиологических реакций обследуемого чело-

века в ответ на предъявляемые стимулы в целях проверки информации, сообщаемой претендентом.

В результате обследования на полиграфе могут быть решены следующие задачи:

- получение информации о прошлом претендента;
- уточнение биографии;
- выявление зависимости от алкоголя, наркотиков и азартных игр;
- выявление связей с преступным миром;
- получение информации о заболеваниях и скрытых психофизиологических и социальных проблемах.

Более подробная информация об использовании полиграфа изложена в статье [9].

В системе отбора космонавтов обследование на полиграфе целесообразно использовать в составе комплекса других методов и средств, что будет способствовать решению следующих задач отбора претендентов в космонавты: 1) обследование претендентов и выявление среди них нежелательных лиц для включения в отряд космонавтов; 2) оценка и коррекция готовности кандидатов в космонавты к экстренным действиям в критических ситуациях.

Так же, как и методы ДНК-диагностики, исследование на полиграфе должно проводиться с учетом существующих законодательных и биоэтических требований и ограничений.

Выводы

1. Современная система отбора космонавтов представляет собой сложный комплекс методов и средств, предназначенных для организации, обеспечения и проведения отбора космонавтов в интересах выполнения Федеральной космической программы. К настоящему времени в РФ сформирована единая политика отбора космонавтов, которая обеспечивается законодательной ответственностью Госкорпорации «Роскосмос» за отбор космонавтов; наличием единого отряда космонавтов Роскосмоса; открытостью конкурсных отборов; единством комиссий, проводящих отбор; едиными правилами и требованиями отбора для всех категорий претендентов, а также общностью процедур отбора.

Одним из важнейших качеств, которым обладает система отбора космонавтов, является ее способность к адаптации с целью обеспечения перспективных пилотируемых миссий.

2. Особенно значимыми для совершенствования технологий отбора будут полеты человека за пределы околоземных орбит, а именно, в окололунное пространство, на Луну и в дальний космос. В качестве основы построения моделей отбора для подобных пилотируемых миссий предлагаются методы профессиографического анализа, технологии конкурсного отбора кандидатов, процедуры тестирования на естественных и искусственных аналогах условий деятельности космонавтов.

3. Существенный потенциал в повышении качества отбора космонавтов для будущих миссий имеется в использовании критериально-ориентированных экспертных систем, позволяющих интегрировать инструментальные методы обследования, психофизиологические средства контроля и математические модели.

Новые возможности в отборе космонавтов открывают методы ДНК-диагностики и исследования кандидатов с помощью полиграфа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пилотируемые полеты: от Ю.А. Гагарина к МКС и полетам в дальний космос / Крикалев С.К., Крючков Б.И., Курицын А.А. // Наука и технологии в промышленности. – Вып. № 1. – Ч. 1. – 2012. – С. 58–65.
- [2] Отбор космонавтов: опыт и прогнозы / Крючков Б.И., Харламов М.М., Курицын А.А., Усов В.М. // Воздушно-космическая сфера. – № 2(95). – 2018. – С. 96–107.
- [3] Основные результаты конкурсного отбора кандидатов в космонавты в 2017–2018 гг. / Власов П.Н., Маленченко Ю.И., Крючков Б.И., Курицын А.А., Харламов М.М., Почуев В.И., Корзун В.Г., Матвеев В.П., Каспранский Р.Р., Войтулевич Л.В., Васин А.В., Усов В.М., Самарцев В.Ю., Кондратьев А.С., Крылов А.И., Назин В.Г., Андреев Е.В., Беляева А.Д. // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(30). – 2019. – С. 32–44.
- [4] Ярополов В.И. Анализ особенностей лунной экспедиции и разработка предложений по обеспечению безопасности экипажа при выполнении миссий к Луне // Пилотируемые полеты в космос. – № 1(6). – 2013. – С. 44–65.
- [5] К проекту освоения Луны: инженерно-психологические и медицинские проблемы / Ушаков И.Б., Бубеев Ю.А., Гушин В.И., Боритко Я.С. // Космическая техника и технологии. – № 3(10). – 2015. – С. 68–80.
- [6] Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под ред. Легостаева В.П., Лопоты В.А. – М.: РКК «Энергия», 2011. – 584 с.
- [7] NASA Details Plans for Lunar Exploration Robotic Missions // URL: <https://phys.org/news/2009-05-nasa-lunar-exploration-robotic-missions.html> (дата обращения 21.04.2020).
- [8] Иванова Е.И. Профориентационная профессиография: Метод. пособие. – М.: Высшая школа психологии, 2005. – 96 с.
- [9] О возможности использования полиграфа при отборе кандидатов в космонавты / Крючков Б.И., Королев Л.М., Рюмин О.О. // Пилотируемые полеты в космос. – № 3(32). – 2019. – С. 83–89.
- [10] Степанов Р.Г. Технология Data Mining: Интеллектуальный анализ данных. Архивная копия от 11 июня 2017 на Wayback Machine. Электронный ресурс, доступ свободный.
- [11] Даниличев С.Н., Спиринов А.Е., Крылов А.И. и др. Способ и устройство дистанционной экспресс-диагностики зрительного анализатора. Патент на изобретение RU 2 726 604 от 14 июля 2020 г., по заявке № 2019118666 от 17 июня 2019 г.
- [12] Медико-биологические риски, связанные с выполнением дальних космических полетов / Уйба В.В., Ушаков И.Б., Сапецкий А.О. // Медицина экстремальных ситуаций. – № 1(59). – 2017. – С. 43–64.

- [13] Использование ресурсов Луны для исследования и освоения Солнечной системы в XXI веке / Брюханов Н.А., Легостаев В.П., Лобыкин А.А. и др. // Космическая техника и технологии. – № 1(4). – 2014. – С. 3–14.
- [14] Бодров В.А. Психология профессиональной пригодности. – М.: ПЕР СЭ, 2001. – 511 с.
- [15] Moon robots 2025 // URL: https://smrobotics.com/moon_robot/ (дата обращения 14.06.2020).
- [16] Оценка радиационной обстановки на Луне / Денисов А.Н. [и др.] // Труды 52-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук»: Часть VIII. Проблемы современной физики. – М.: МФТИ, 2009. Режим доступа: http://www.cosmic-rays.ru/articles/Luna/S2012_Luna.pdf.
- [17] Безродных И.П. Факторы космического пространства, влияющие на исследования и освоение Луны [Электронный ресурс] / Безродных И.П. – М.: ИКИ РАН, 2014. Режим доступа <http://www.cosmic-rays.ru/articles/Luna/Luna.pdf>.
- [18] Desert Research and Technology Studies (DRATS) 2008: Evaluation of Small Pressurized Rover and Unpressurized Rover Prototype Vehicles in a Lunar Analog Environment NASA/TP-2010-216136. Сайт НАСА. (дата обращения 13.05.08.2015).
- [19] Миссии-аналоги ЕКА, проводимые в интересах осуществления пилотируемых полетов в дальний космос: CAVES, PANGAEA, ESOL / Долгов П.П., Иродов Е.Ю., Коренной В.С., Онуфриенко Ю.И. // Пилотируемые полеты в космос. – № 2(31). – 2019. – С. 96–113.
- [20] Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э. Индивидуальная чувствительность слуховой системы космонавтов к воздействию шума в длительном космическом полете // Идеи К.Э. Циолковского в контексте современного развития науки и техники. Материалы 53-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. – 2018. – С. 172–175.
- [21] Изменения костной ткани человека в космическом полете ii. Некоторые закономерности и особенности / Оганов В.С., Бакулин А.В., Новиков В.Е., Мурашко Л.М., Кабицкая О.Е. // Остеопороз и остеопатии. – № 1. – 2005. – С. 2–6.
- [22] Поиск связей между показателями устойчивости к экстремальным воздействиям и уровнем индивидуальной гетерозиготности / Курбатова О.Л., Победоносцева Е.Ю., Каспранский Р.Р., Ларина О.Н. // Генетика. – № 12. – 2018. – С. 1448–1456.
- [23] Установление генетических маркеров устойчивости и чувствительности человека к радиационному воздействию / Уткин К.В., Кофиади И.А., Батенева Е.И., Аклеев А.В., Орадовская И.В., Рагимов А.А., Викулов Г.Х., Радзивил Т.Т., Пашенкова Ю.Г., Алексеев Л.П. // Иммунология. – № 2. – 2013. – С. 80–84.
- [24] Reed R.D., Antonsen E.L. Should NASA Collect Astronauts' Genetic Information for Occupational Surveillance and Research? // AMA Journal of Ethics. – September 2018, Volume 20, Number 9: E849-856 https://journalofethics.ama-assn.org/sites/journalofethics.ama-assn.org/files/2018-08/pfor1-peer2-1809_1.pdf (дата обращения 13.01.11.2020).
- [25] Рабинович Б.А. Безопасность человека при ускорениях. (Биомеханический анализ). – М., 2006. – 208 с.

REFERENCES

- [1] Manned Space flights: from Gagarin's space flight to the ISS missions and human deep space exploration / Krikalev S.K., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A. // Science and Technology in Industry. – Issue. № 1. – Part 1. – 2012. – pp. 58–65.

- [2] Selection of cosmonauts: experience and expectations / Kryuchkov B.I., Kharlamov M.M., Kuritsyn A.A., Usov V.M. // *Aerospace Sphere Journal*. – No 2(95). – 2018. – pp. 96–107.
- [3] Main results of the competitive selection of cosmonaut candidates in 2017–2018 / Vlasov P.N., Malenchenko Yu.I., Kryuchkov B.I., Kuritsyn A.A., Kharlamov M.M., Pochuev V.I., Korzun V.G., Matveev V.P., Kaspransky R.R., Voitulevich L.V., Vasin A.V., Usov V.M., Samartsev V.Yu., Kondratyev A.S., Krylov A.I., Nazin V.G., Andreev E.V., Belyaeva A.D. // *Scientific Journal “Manned Spaceflight”*. – No 1(30). – 2019. – pp. 32–44.
- [4] Yaroplov V.I. Analysis of lunar expedition peculiarities and proposals on crew safety during flight to the Moon // *Scientific Journal “Manned Spaceflight”*. – No 1(6). – 2013. – pp. 44–65.
- [5] Lunar exploration project: engineering, psychological and medical issues / Ushakov I.B., Bubeev Yu.A., Gushchin V.I., Boritko Ya.S. // *Space Engineering and Technology*. – No 3(10). – 2015. – pp. 68–80.
- [6] Moon – a step towards the Solar system exploration / Edited by Legostaev V.P., Lopota V.A. – Moscow: RSC Energia, 2011. – p. 584.
- [7] NASA Details Plans for Lunar Exploration Robotic Missions // URL: <https://phys.org/news/2009-05-nasa-lunar-exploration-robotic-missions.html> (access date 21.04.2020).
- [8] Ivanova E.I. Career guidance profesiography: Study guide. – Moscow: Higher School of Psychology, 2005. – p. 96.
- [9] The opportunity to use a polygraph when selecting cosmonaut candidates / Kryuchkov B.I., Korolev L.M., Ryumin O.O. // *Scientific Journal “Manned Spaceflight”*. – No 3(32). – 2019. – pp. 83–89.
- [10] Stepanov R.G. Data Mining Technology. Archival copy dated June 11, 2017 on Wayback Machine. Electronic recourse, free access.
- [11] Danilichev S.N., Spirin A.E., Krylov A.I. et. al. Design of remote express diagnostics of the visual analyzer. Patent for invention RU 2 726 604 dated July 14, 2020 by application No 2019118666 dated June 17, 2019.
- [12] Biomedical risks associated with long-distance space flights / Uyba V.V., Ushakov I.B., Sapetskiy A.O. // *Medicine of Extreme Situations*. – No 1(59). – 2017. – pp. 43–64.
- [13] Using in-situ lunar resources for the exploration and development of the Solar system in the XXI century / Bryukhanov N.A., Legostaev V.P., Lobykin A.A. et.al. // *Space Engineering and Technology*. – No 1(4). – 2014. – pp. 3–14.
- [14] Bodrov V.A. Psychology of competency. – Moscow: PER SE, 2001. – p. 511.
- [15] Moon robots 2025 // URL: https://smrobotics.com/moon_robot/ (access date 14.06.2020).
- [16] Evaluation of the radiation situation on the Moon / Denisov A.N. [et.al] // *Proceedings of the 52nd MIPT Scientific Conference “Contemporary Problems of Fundamental and Applied Sciences”*: Part VIII. Issues of contemporary physics. – Moscow: MIPT, 2009. Access mode: http://www.cosmic-rays.ru/articles/Luna/S2012_Luna.pdf.
- [17] Bezrodnykh I.P. Outer space factors influencing the lunar exploration [Electronic resource] / Bezrodnykh I.P. – Moscow: SRI RAS, 2014. Access mode <http://www.cosmic-rays.ru/articles/Luna/Luna.pdf>.
- [18] Desert Research and Technology Studies (DRATS) 2008: Evaluation of Small Pressurized Rover and Unpressurized Rover Prototype Vehicles in a Lunar Analog Environment NASA/TP-2010- 216136. NASA web-site (access date 13. 05.08.2015).

- [19] Analogue missions performed in the interests of crewed flights to deep space: caves, PANGAEA, ENVIHAB, ESOL / Dolgov P.P., Irodov E.Yu., Korennoy V.S., Onufrienko Yu.I. // Scientific Journal "Manned Spaceflight". – No 2(31). – 2019. – pp. 96–113.
- [20] Matsnev E.I., Sigaleva E.E. Individual sensitivity of the auditory system of cosmonauts to the effects of noise during long-term space flights. // K.E Tsiolkovsky's narrative thoughts as part of contemporary development of science and technology. Proceedings of the 53rd Scientific Conference in Memory of K.E. Tsiolkovsky. – 2018. – pp. 172–175.
- [21] Changes in human bone tissue during space flights. Some patterns and features / Oganov V.S., Bakulin A.V., Novikov V.E., Murashko L.M., Kabitskaya O.E. // Osteoporosis and Osteopathy. – No 1. – 2005. – pp. 2–6.
- [22] Assuming a relationship between indicators of resistance to extreme impacts and the level of individual heterozygosity / Kurbatova O.L., Pobedonostseva E.Yu., Kaspransky R.R., Larina O.N. // Genetics. – No 12. – 2018. – pp. 1448–1456.
- [23] Identification of genetic markers of human resistance and sensitivity to radiation exposure / Utkin K.V., Kofiadi I.A., Bateneva E.I., Akleev A.V., Oradovskaya I.V., Ragimov A.A., Vikulov G.Kh., Radzivil T.T., Paschenkova Yu.G., Alekseev L.P. // Immunology. – No 2. – 2013. – pp. 80–84.
- [24] Reed R.D., Antonsen E.L. Should NASA Collect Astronauts' Genetic Information for Occupational Surveillance and Research? // AMA Journal of Ethics. – September 2018, Volume 20, Number 9: E849-856 https://journalofethics.ama-assn.org/sites/journalofethics.ama-assn.org/files/2018-08/pfor1-peer2-1809_1.pdf (access date 13. 01.11.2020).
- [25] Rabinovich B.A. Human safety during acceleration. (Biomechanical analysis). Moscow, 2006. – p. 208.