

# ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПИЛОТИРУЕМЫХ ПОЛЕТОВ В КОСМОС

## THEORY AND PRACTICE OF HUMAN SPACE FLIGHTS

УДК 629.78

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

В.П. Хрипунов, Ю.Б. Сосюрка, Б.А. Наумов

Канд. техн. наук, доц. В.П. Хрипунов; канд. техн. наук, доц. Ю.Б. Сосюрка;  
докт. техн. наук, доц. Б.А. Наумов (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются основные теоретические и практические аспекты обоснования мероприятий и работ по созданию новых и модернизации существующих технических средств подготовки космонавтов (ТСПК). Рассматриваются методические подходы, основанные на системном анализе и предполагающие использование как методов решения дискретных многокритериальных задач, так и эвристических процедур выбора наиболее приемлемых вариантов технических решений. Определены перспективные направления работ по созданию и модернизации ТСПК.

**Ключевые слова:** технические средства подготовки космонавтов, создание и модернизация технических средств подготовки космонавтов, тренажеры транспортного пилотируемого корабля, тренажеры орбитальной станции, тренажерные комплексы, космическое тренажеростроение

#### **Methodical Approaches to Substantiating the Choice of Engineering Solutions for the Creation and Modernization of Technical Means for the Training of Cosmonauts.**

**V.P. Khripunov, Yu.B. Sosyurka, B.A. Naumov**

The paper deals with the main theoretical and practical aspects of reasoning the activities related to the creation of new technical facilities for cosmonaut training (CTTFs) and upgrading of the existing ones. Also, it considers the methodical approaches premised on the systems analysis using both the methods of solving discrete multi-criterion problems and heuristic procedures of choosing the most suitable technical decisions. The promising lines for the creation and upgrading of the CTTFs have been identified.

**Keywords:** Technical Facilities for Cosmonaut Training (CTTFs), creation and upgrading of CTTFs, Manned Transport Vehicle simulator, Orbital Station simulators, simulation complexes, space simulator building

Развитие пилотируемой космонавтики на период до 2035 года и дальнейшую перспективу предусматривает завершение эксплуатации российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), создание новой российской орбитальной станции (РОС) и средств ее транспортно-технического обеспечения, пилотируемого транспортного корабля нового поколения, а также ракет-носителей тяжелого класса и космической инфраструктуры, способной обеспечить полеты человека к Луне и на Луну.

В целях реализации текущих и перспективных пилотируемых космических программ важной и актуальной является задача обеспечения своевременной и качественной подготовки космонавтов. Ее решение требует проведения большого объема работ по созданию и модернизации соответствующих ТСПК. ТСПК – средства, предназначенные для профессиональной подготовки космонавтов, обеспечивающие их теоретическую и практическую подготовку, выработку профессиональных навыков и умений, необходимых для выполнения космического полета и действий после посадки, подготовку организма космонавтов к воздействию факторов космического полета. Работы по созданию ТСПК, как правило, связаны с разработкой новых пилотируемых кораблей и орбитальных станций, потребностью расширения состава тренажерных средств, необходимостью замены существующих ТСПК в связи с выработкой ресурса (срока эксплуатации).

Выполнение работ по созданию и модернизации ТСПК преследует следующие цели:

- расширение функциональных и методических возможностей ТСПК за счет обеспечения более полного информационного соответствия штатному изделию, дооснащения аппаратурой контроля и управления;
- достижение более высокого уровня эргономических характеристик в части достаточности, состава и качества информации на пультах контроля и управления, удобства доступа;
- обеспечение требуемого уровня надежности и готовности ТСПК;
- улучшение (поддержание на заданном уровне) эксплуатационно-технических характеристик ТСПК и их систем.

Основными причинами, обосновывающими проведение работ по модернизации ТСПК, являются (рис. 1):

- необходимость адекватного «отслеживания» в ТСПК изменений программно-аппаратных частей бортовых систем штатных изделий (транспортных пилотируемых кораблей, модулей орбитальных станций и их систем), влияющих на работу экипажа в соответствии с предписанными в документации на штатное изделие ручными операциями и операциями контроля экипажем состояния бортовых систем (изменения форматов бортовых дисплеев, введение новых органов управления, замена оборудования и т. п.);
- необходимость устранения недостатков, а также замечаний космонавтов и инструкторско-преподавательского состава к ТСПК, в том числе отмеченных по результатам анализа выполненных космических полетов,



Рис. 1. Причины проведения модернизации ТСПК по данным 2019–2022 гг.

в процессе тренировок и практических занятий, которые влияют на качество подготовки и требуют внесения изменений и дополнений в программно-аппаратный комплекс ТСПК, средства контроля за действиями космонавтов и управления состоянием тренажеров;

– необходимость замены претерпевших физический износ и моральное устаревание программного обеспечения и аппаратуры ТСПК и их систем на современные (в том числе, когда необратимое моральное устаревание конструктивных элементов делает экономически неэффективным или технологически невозможным их воспроизводство).

Анализ недостатков и замечаний к тренажерам и их системам (из состава всех ТСПК), выявленных космонавтами и инструкторско-преподавательским составом за период 2019–2021 гг., показывает, что более половины (51,4 %) замечаний и предложений приходится на тренажеры РС МКС (служебного модуля, многоцелевого лабораторного модуля, бортовой вычислительной системы), 20,7 % – на комплексные тренажеры транспортного пилотируемого корабля «Союз МС». При этом указанные недостатки и замечания были в основном обусловлены:

- ограничениями функциональных возможностей тренажеров (45,9 %);
- несоответствием комплектации, конструкции тренажеров и их систем штатным изделиям (32,4 %);
- необходимостью совершенствования эксплуатационно-технических характеристик тренажеров (9,9 %);
- функциональным несоответствием штатным изделиям (9,9 %) и др.

Значительный объем работ по созданию перспективных и модернизации существующих ТСПК, отличающихся сложностью, новизной, высокими затратами материально-технических, интеллектуальных и финансовых

ресурсов, требует их априорного научно-технического обоснования с целью отбора наиболее значимых из них и их включения в план развития ТСПК.

В процессе создания и модернизации ТСПК должны приниматься технические решения, обеспечивающие рациональное построение их структуры, заданные значения эксплуатационно-технических характеристик, оптимизация параметров систем и режимов их функционирования по выбранным критериям.

Современный комплекс ТСПК представляет собой взаимосвязанную совокупность сложных, многокомпонентных человеко-машинных систем. При этом имеются все необходимые основания для использования методов системного анализа при выработке, принятии и обосновании решений, связанных с проектированием, созданием и управлением жизненным циклом ТСПК. Как известно, его теоретическую и методологическую основу составляют системный подход и общая теория систем в сочетании с комплексом общенаучных, экспериментальных, статистических, математических и других методов. Методы системного анализа позволяют применить как строгие формализованные, так и эвристические процедуры, основанные на использовании богатого профессионального опыта и интуиции принимающих решения высококвалифицированных специалистов [1].

В первом случае выбор наиболее приемлемого (оптимального) варианта создания и модернизации ТСПК и их систем методологически можно сформулировать как результат решения дискретной многокритериальной задачи [2].

Имеется множество  $A_{\{z\}} = \{a_i\}_z = \{a_1, a_2, \dots, a_z\}$  допустимых с точки зрения разработчиков ТСПК вариантов технически реализуемых альтернативных решений, относящихся к определенным классам. Эти решения, к примеру, могут относиться к выбору структуры тренажерного комплекса, режима функционирования, варианта декомпозиции систем на отдельные модули и блоки, параметров систем и др. [3]. Реализация каждого решения характеризуется некоторым исходом (последствием):  $x_i \in X_{\{z\}}$ .

Упорядочивание сравниваемых альтернатив осуществляется по выбранному составу показателей:

$$K_{\langle n \rangle} = \langle K_1, K_2, \dots, K_n \rangle.$$

В качестве показателей применительно к ТСПК могут фигурировать: надежность, ресурс, стоимость, производительность, быстродействие, масштабируемость, длительность разработки и др.

Требуется произвести оценивание исходов по набору показателей, определив предпочтения, то есть построить модель выбора решения, лучшего в некотором смысле.

В общем случае задача выбора решения может быть охарактеризована следующим кортежем:

$$\langle A_{\{z\}}, X_{\{z\}}, \{K_{\langle n \rangle}\}, f, P_s, D, O_{\{r\}} \rangle,$$

где  $A_{\{z\}}$  – множество альтернатив (вариантов) реализуемых решений;

$X_{\{z\}}$  – множество исходов;

$f: X_{\{z\}} \rightarrow \{K_{\langle n \rangle}\}$  – отображение множества исходов во множество векторных оценок показателей;

$D$  – решающее правило (алгоритм);

$P_s$  – структура предпочтений, формируемая на множестве  $\{K_{\langle n \rangle}\}$ , порождаемая системой предпочтений  $S$ ;

$O_{\{r\}}$  – множество ограничений, отражающих границы практической реализуемости вариантов решений.

Выбор множества  $A_{\{z\}}$ , приемлемых с точки зрения разработчиков ТСПК вариантов технически реализуемых решений, осуществляется в рамках существующих временных, ресурсных, финансовых ограничений  $O_{\{r\}}$  на разработку (модернизацию) ТСПК (в том числе ограничений по возможностям кооперации потенциальных соисполнителей).

Каждый исход, соответствующий альтернативе  $a_i \in A_{\{z\}}$ , характеризуется векторной оценкой  $K_{\langle n \rangle}(a, s)$ .

Система предпочтений  $S$  – это совокупность представлений о критериях достижения цели, достоинствах и недостатках сравниваемых решений, позволяющих производить их целенаправленный выбор. Предпочтения структурируются и формализуются в виде определенной системы отношений.

Структура предпочтений  $P_s$  определяет процедуру сравнения  $K_{\langle n \rangle}$ , а решающее правило  $D$  – принцип выбора наиболее приемлемого (оптимального) решения из множества  $A_{\{z\}}$  на основе результатов сравнения.

Требуется построить решающее правило (некоторый алгоритм)  $D$ , позволяющее произвести выбор лучшей в смысле  $P_s$  альтернативы  $a_j \in A_{\{z\}}$ , являющейся вариантом решения, удовлетворяющим ограничениям  $O_{\{r\}}$ .

Способы задания элементов кортежа  $A_{\{z\}}$ ,  $X_{\{z\}}$ ,  $\{K_{\langle n \rangle}\}$ ,  $f$ ,  $P_s$ ,  $D$ ,  $O_{\{r\}}$  определяются спецификой конкретно решаемой задачи создания или модернизации ТСПК и возможностями их формализованного описания.

В специальной литературе имеются сведения о практическом решении отдельных задач выбора оптимальных вариантов технических решений по созданию и модернизации ТСПК (обоснования структуры и параметров программных средств тренажерных комплексов, выбора структуры проблемно-ориентированного комплекса устройств сопряжения с объектом на основе использования методов сопоставительного анализа расчетных характеристик тренажерного комплекса при различных вариантах реализации), а также о возможности применения различных теоретических и экспериментальных методов, в том числе методов решения дискретных многокритериальных задач, оптимизационных методов и методов имитационного моделирования [3].

В общем случае задачи выбора оптимальных вариантов создания и модернизации ТСПК и их систем на прогнозируемый период времени (интервал планирования) относятся к числу сложных и трудно формализуемых

многокритериальных оптимизационных управленческих задач принятия решений в условиях все возрастающей неопределенности. Так, например, только интервал планирования работ по созданию и модернизации ТСПК в рамках проводимых опытно-конструкторских работ (ОКР), начиная с 2010 года, возрос от одного года до четырех лет.

К основным причинам трудностей многокритериальных оптимизационных задач принятия управленческих решений (в отличие от математических задач нахождения оптимума критериальной функции) можно отнести следующие особенности:

- не существует методов и алгоритмов, позволяющих сформулировать цели (критерии) и варианты решения, которые имеют прежде всего содержательный характер и только частично могут определяться количественными характеристиками;
- невозможно достаточно точно количественно оценить все ограничения и ожидаемые последствия выбора тех или иных альтернативных вариантов.

Поэтому в настоящее время для решения такого класса задач на практике в большинстве случаев используется эвристический подход. Реализация эвристических методов предполагает наличие опытных и высококвалифицированных экспертов и использование ими как можно более полного состава исходных данных (качественных и количественных характеристик), необходимых для обоснованного выбора проектных решений. При этом важную роль играет обеспечение отсутствия какой-либо зависимости принимаемого решения от интересов экспертов, мотивы поведения которых могут повлиять на его выбор [4].

Такие данные для выбора направлений и видов проводимых работ по созданию и модернизации ТСПК могут быть получены на основании анализа и учета множества факторов, состав которых представлен на рис. 2.

Анализ выполненных в Центре подготовки космонавтов за пятилетний период (2014–2018) работ по созданию и модернизации тренажеров транспортных пилотируемых кораблей (ТПК) и модулей РС МКС показал, что значительно более трудоемкими и затратными являются работы, выполняемые с тренажерами ТПК «Союз».

Это обусловлено постоянным совершенствованием самого транспортного корабля. Работы с тренажерами орбитальных модулей РС МКС являются менее затратными в связи с тем, что почти все модули, за редким исключением, в значительно меньшей степени подвержены доработкам, которые в основном направлены на улучшение их характеристик с целью обеспечения максимального приближения условий подготовки космонавтов к условиям реального полета.

Современное развитие науки, техники и технологий тренажеростроек, возрастающие требования к качеству и объемам подготовки космонавтов, динамичность развития пилотируемой космонавтики (создание



Рис. 2. Исходные данные для выбора направлений и видов работ по созданию и модернизации ТСПК

и развертывание на орбите новой российской орбитальной станции, разработка российского пилотируемого корабля нового поколения; планирование полетов на Луну и Марс) ставят задачи глубокой модернизации и развития ТСПК в сжатые сроки с широким применением наукоемких инновационных технологий.

В связи с этим в настоящее время можно выделить ряд перспективных технологических направлений в космическом тренажеростроении, основными из которых являются:

- создание интегрированных многофункциональных тренажерных комплексов (ТК);
- создание учебно-тренажерных моделирующих комплексов виртуальной реальности (КВР);
- применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в системах автоматизированного контроля и управления работой тренажеров и ТК;
- создание и использование в процессе проектирования цифровых двойников (ЦД) ТСПК.



## Создание интегрированных многофункциональных ТК

Интегрированный многофункциональный ТК представляет собой объединение тренажеров, обладающих, кроме набора средств индивидуального пользования, средствами унифицированных аппаратных и программных средств коллективного пользования. При этом программные компоненты тренажеров построены на единой операционной платформе и объединены в единую информационно-моделирующую среду.

Аппаратное создание единого информационного пространства достигается введением локальной вычислительной сети, объединяющей вычислительные ресурсы отдельных тренажеров.

Основным преимуществом использования интегрированных решений является возможность объединения независимо разработанных автономных тренажеров (в том числе с использованием системы распределенного моделирования) в совокупность интегрированных тренажеров с новыми возможностями более эффективного использования имеющихся информационно-вычислительных и аппаратных ресурсов и снижения затрат на создание и эксплуатацию составных частей тренажеров. Необходимым условием объединения тренажеров является наличие компьютерной сети между ними, а также согласованных протоколов обмена информацией [5].

Следует отметить, что возможности по интеграции различных ТСПК зависят от их конструктивно-технологических особенностей и, прежде всего, от возможностей использования программно-аппаратных средств для реализации информационно-управляющего взаимодействия между ТСПК. Ниже в таблице представлены уровни интеграции различных ТСПК.

Номенклатура ТСПК	Состав ТСПК	Структура информационно-управляющего взаимодействия между ТСПК
1-й уровень		
Не интегрируемые ТСПК	Натурные (полунатурные) физические модели, макеты, реальные образцы космической техники	Видеонаблюдение, радиосвязь между операторами и постами контроля и наблюдения, регистрация, передача и хранение информации, онлайн-трансляция видеoinформации. Обеспечение дифференцируемого доступа пользователей различных категорий
2-й уровень		
Частично интегрируемые ТСПК	Автономно создаваемые и автономно функционирующие ТСПК, содержащие программно-аппаратные средства (гидролаборатория, тренажеры-макеты для отработки навыков выживания на Земле и на воде («Материк», «Океан»), функционально-моделирующие стенды (ФМС))	Видеонаблюдение, радиосвязь между операторами и постами (пультами) контроля и наблюдения, регистрация, передача и хранение информации, телеметрия, онлайн-трансляция. Обмен видеонизображением между отдельными тренажерами (гидролаборатория, тренажер европейского манипулятора «Дон-ERA»). Обеспечение дифференцируемого доступа пользователей различных категорий



Окончание таблицы

Номенклатура ТСПК	Состав ТСПК	Структура информационно-управляющего взаимодействия между ТСПК
3-й уровень		
Автономно созданные тренажеры и частично интегрируемые ТСПК	Тренажеры ТПК, ФМС, стенды, виртуальные тренажеры	<p>В интегрируемых (частично интегрируемых) тренажерах – межмашинный и сетевой обмен информации по специальному протоколу.</p> <p>Внедрение компонент распределенной сетевой среды в структуру вычислительной системы ранее созданных тренажеров в виде «шлюзов» – реализация технологии объединения программных компонент и информационных потоков составных частей различных по своему составу и структуре систем тренажеров в единое информационное пространство, обеспечивающих взаимодействие, управление и контроль</p>
4-й уровень		
Тренажерные комплексы	Тренажерный комплекс в составе тренажеров РС МКС	<p>Объединение программно-аппаратных средств моделей систем, создание единой вычислительной системы.</p> <p>Интеграция и виртуализация ресурсов. Общее информационное пространство – распределенная сетевая среда моделирования (отечественные: ТРИО, СОТА).</p> <p>Использование существующих информационных каналов корпоративной локальной вычислительной сети – в виде физических (витая пара, волоконно-оптические линии связи) или беспроводных и виртуальных коммутаторов и средств доступа</p>
5-й уровень		
Функционирующие под управлением автоматизированной системы планирования и управления подготовкой космонавтов тренажеры, тренажерный комплекс, образовательный и научный комплексы	<p>Тренажеры транспортного пилотируемого корабля и тренажерный комплекс РС МКС, комплекс автоматизированных средств управления процессом подготовки спецконтингента (КАСУППС), мультимедийные классы, аудитории.</p> <p>Единые системы хранения и обработки информации</p>	<p>Включает структуру предыдущего уровня.</p> <p>Дополнительно обеспечивается доступ к различным типам информационных потоков для существующих и разрабатываемых ТК, образовательного и научного комплексов: единой сети видеонаблюдения, голосовой связи, передачи данных, удаленного управления экранами пультов контроля и управления, рабочих мест оператора, хранения единых централизованных баз данных поддержки учебного, научного и тренажерного процессов подготовки космонавтов, удаленных рабочих мест тренажеров и ФМС, взаимодействие учебного и тренажерного комплексов, удаленный доступ и взаимодействие с внешними абонентами (ЦУП, предприятия-разработчики и др.).</p> <p>Развитие и полномасштабная реализация современных информационных и серверных технологий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– центра обработки данных и облачных технологий;</li> <li>– виртуализации;</li> <li>– перехода с клиент-серверной на сервис-ориентированную архитектуру;</li> <li>– организации защищенного сетевого доступа</li> </ul>

### **Создание учебно-тренажерных моделирующих комплексов виртуальной реальности**

Использование комплексов виртуальной реальности (КВР) актуально в начале реализации перспективных пилотируемых программ в условиях отсутствия необходимого состава специализированных или комплексных тренажеров и/или неоправданно высокой стоимости их создания и применения. В этих случаях КВР способны обеспечить предварительную (предтренажерную) подготовку космонавтов, а также отработку новых элементов космической программы: деятельности по управлению системами, выполнению динамических полетных операций, внекорабельной, напланетной и внутрикорабельной деятельности, взаимодействия с робототехническими средствами, что снизит потенциальные риски и опасности при работе с новыми системами и оборудованием в новых условиях деятельности.

Кроме того, в ряде случаев КВР могут применяться в качестве исследовательских «лабораторий» для проведения экспериментальной отработки эргономических характеристик системы «космонавт – техника – среда» различного целевого назначения.

### **Применение технологий искусственного интеллекта в системах автоматизированного контроля и управления тренажеров и ТК**

Заслуживают особого внимания методы ИИ, которые могут быть использованы при модернизации существующих и создании перспективных систем контроля состояния системы «тренажер – обучаемый – оператор». К таким методам можно отнести:

- нейросетевые технологии, основанные на использовании различных парадигм нейронных сетей (НС) и методов их обучения;
- технологии извлечения новых знаний из больших баз данных (технологии Data Mining или Big Data).

Так технологии ИИ на основе НС в сочетании с алгоритмами компьютерного зрения могут быть применены для упрощения задач визуальной оценки состояния космонавтов по видеомониторам. При этом утомительный процесс непрерывного контроля изображений может быть переведен в разряд событийного видеонаблюдения, которое устраняет необходимость длительной концентрации внимания на малоинформативном контенте. Система самостоятельно определяет необходимость переключения внимания наблюдающего оператора на экран видеомонитора, выдавая ему звуковой и/или визуальный тревожный сигнал только в тех случаях, когда изображение начинает изменяться в соответствии с набором значимых признаков. Набор этих событийных признаков не является статичным, а уточняется, изменяется и дополняется при проведении каждой тренировки путем интерактивного взаимодействия оператора и специализированной программы,

отвечающей за аналитическую обработку информации. Таким образом, система постоянно находится в процессе «обучения», например, совершенствуя собственные алгоритмы формирования, и выдачи наблюдающему за поведением обучаемого космонавта врачу-физиологу «тревожных» сообщений.

Внедрение второй группы технологий способно обеспечить специалистов (инструкторов) большим объемом важной аналитической информации в системах обработки и регистрации аудио- и видеоинформации. Подобные технологии позволяют собирать и обрабатывать огромные массивы данных, выявляя сложные закономерности и формируя новые знания, которые невозможно получить из разрозненных локальных фрагментов, хранящихся в настоящее время в архивах. Эта информация необходима для качественной оценки состояний и событий при отработке на комплексных тренажерах пилотируемых космических аппаратов различных режимов космического полета, включая реакции космонавтов на нештатные и аварийные ситуации (при пожаре, задымлении, разгерметизации, отказах оборудования и т. д.).

### **Создание и использование в процессе проектирования ТСПК цифровых двойников**

В последнее время при разработке сложных технических объектов особое внимание уделяется использованию современных средств и методов цифрового проектирования. В полной мере это относится к созданию и модернизации тренажеров, тренажерных комплексов и их систем.

Результаты проектно-конструкторских работ по созданию и модернизации ТСПК и их систем в виде электронных геометрических, структурных и математических компьютерных моделей, электронных конструкторских и эксплуатационных документов и т. п. должны размещаться в единой автоматизированной системе, образуя так называемый электронный цифровой двойник изделия. ЦД должен содержать данные о составе ТСПК (изделия), функциях, форме, требованиях к изготовлению, используемых материалах, технологиях изготовления, связях между элементами изделия и других его существенных свойствах и поддерживаться в актуальном состоянии на протяжении всего жизненного цикла изделия.

С целью минимизации затрат и повышения качества принимаемых технических решений на этапах ОКР цифровой двойник должен включать систему верифицированных компьютерных моделей изделия, обеспечивающих проведение его виртуальных испытаний (проверку реализации заданных в ТТЗ характеристик).

### **Выводы**

1. Многолетний опыт организации и обеспечения подготовки космонавтов показывает, что выбор обоснованных научно-технических управленческих решений по созданию и модернизации технических средств подготовки

космонавтов и их систем методологически должен базироваться на использовании положений системного анализа, предполагающего применение как строго формализованных, так и эвристических процедур.

При этом в первом случае выбор вариантов создания и модернизации ТСПК и их систем представляет собой результат математического решения многокритериальных оптимизационных задач принятия решений, относящихся к разряду сложных и трудно формализуемых.

С практической точки зрения более приемлемым и чаще всего используемым является эвристический подход, основанный на использовании богатого профессионального опыта, знаний и интуиции принимающих решения экспертов из числа высококвалифицированных специалистов в области создания и эксплуатации космических тренажеров.

2. Решение задач развития и модернизации ТСПК должно осуществляться с учетом современных технологических достижений в области космического тренажеростроения, таких как:

- создание интегрированных многофункциональных тренажерных комплексов;
- создание учебно-тренажерных моделирующих комплексов виртуальной реальности;
- применение технологий искусственного интеллекта в системах автоматизированного контроля и управления тренажеров и ТК;
- создание и использование в процессе проектирования ТСПК цифровых двойников.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Козлов, В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учеб. пособие / В.Н. Козлов. – Москва: Проспект, 2016. – 176 с.
- [2] Застрожнов, И.И. Организационно-технологическое управление автоматизированными системами авиационного оборудования воздушных судов: сборник науч. ст. по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективные направления развития комплексов авиационного оборудования» / И.И. Застрожнов, Л.В. Ершов // Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – С. 97–99.
- [3] Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации / В.Е. Шукшунов, В.В. Циблиев, С.И. Потоцкий [и др.]; под ред. В.Е. Шукшунова. – Москва: Машиностроение, 2005. – 384 с.
- [4] Кулюткин, Ю.К. Эвристические методы в структуре решений / Ю.К. Кулюткин. – Москва: Педагогика, 1970. – 232 с.
- [5] Основы анализа и проектирования ИТ-инфраструктуры для интегрированного тренажерного комплекса подготовки космонавтов / В.Е. Шукшунов, В.В. Янюшкин, М.М. Харламов [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 3(28). – С. 65–83.

## REFERENCES

- [1] Kozlov, V.N. System analysis, optimization and decision making / V.N. Kozlov. – Moscow: Prospect Publ, 2016. – 176 p.
- [2] Zastrozhnov, I.I. Organizational and technological management of automated systems of aircraft equipment: collection of scientific papers adapted from the proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference “Current Issues and Prospective for Development of Aircraft Equipment Complexes” / I.I. Zastrozhnov, L.V. Ershov // Military Educational and Scientific Center Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. – Voronezh: VVA, 2017. – P. 97–99.
- [3] Simulators and simulation complexes. Design techniques and operating experience / V.E. Shukshunov, V.V. Tsibliyev, S.I. Pototsky [et al.]; ed. by V.E. Shukshunov. – Moscow: Mashinostroyenie Publ., 2005. – 384 p.
- [4] Kulyutkin, Yu.K. Heuristic methods in the structure of solutions / Yu.K. Kulyutkin. – Moscow: Pedagogika, 1970. – 232 p.
- [5] Basics of the analysis and designing of it-infrastructure for the integrated simulator complex of cosmonaut training / V.E. Shukshunov, V.V. Yanyushkin, M.M. Kharlamov [et al.] // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2018. – No 3(28). – P. 65–83.