

## **УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО ДОСТУПА**

**В.Е. Шукшунов, В.В. Янюшкин, М.М. Харламов,  
С.Н. Ковригин, Е.В. Попова**

Докт. техн. наук, профессор В.Е. Шукшунов; канд. техн. наук В.В. Янюшкин  
(Центр тренажеростроения и подготовки персонала)

Канд. экон. наук М.М. Харламов; канд. техн. наук, доцент С.Н. Ковригин;  
канд. пед. наук Е.В. Попова (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматриваются подходы к созданию учебного комплекса проведения подготовки космонавтов с возможностями дистанционного доступа в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» на базе современных технических и программных средств. Раскрывается актуальная задача создания возможности дистанционного доступа в процессе проведения занятий с привлечением системы видеоконференцсвязи, доступа к электронным материалам и пособиям, а также возможности удаленной работы со специальным программным обеспечением функционально-моделирующих стендов. Приводится имеющийся задел в проведении работ по данному направлению, предложения по составу учебного комплекса с выделением в структуре набора унифицированных учебных классов, виртуального вычислительного комплекса и системы передачи данных.

**Ключевые слова:** учебный комплекс подготовки космонавтов, виртуальный вычислительный комплекс, унифицированный учебный класс, функционально-моделирующий стенд.

### **Cosmonaut Training Complex with Remote Access.**

**V.E. Shukshunov, V.V. Yanushkin, M.M. Kharlamov,  
S.N. Kovrigin, E.V. Popova**

The paper deals with approaches to the creation of cosmonaut training complex with remote access capability based on the modern hardware and software technologies at the Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center. An actual objective of providing remote access in the course of training session using video conferencing, electronic manuals and other assets as well as remote working with software of functional-modeling stands is discussed. The existing groundwork for work in this line, suggestions on the content of the training complex with the allocation of unified classrooms, virtual computer complex, and the data transfer system in overall structure are also given here.

**Keywords:** cosmonaut training complex, virtual computer complex, unified classroom, functional-modeling stand.

При проведении подготовки космонавтов основными методами подготовки являются лекционные и практические занятия. Лекционные занятия, как правило, проводятся в классах подготовки космонавтов, оборудованных мультимедийными, техническими средствами воспроизведения учебных материалов. Практические занятия проводятся с использованием функционально-моделирующих стендов (ФМС), комплексных и специализированных тренажеров, научной аппаратуры. В последние годы достаточно широкое распространение получили компьютерные ФМС, широко использующие возможности 3D-графики для демонстрации моделей функционального поведения и интерфейсов отдельных блоков и систем космических кораблей и модулей РС МКС.

Процесс подготовки космонавтов охватывает организационные, технические, медицинские, методические, научные, испытательные и др. методы и средства, а также персонал, организующий и проводящий подготовку.

До последнего времени лекционные и практические занятия проводились с очным присутствием космонавтов в классах или на ФМС. Пандемия коронавируса (COVID-19) в 2020 году потребовала изменить формат проведения подготовки космонавтов и астронавтов: значительная часть лекционных занятий была преобразована в формат видеоконференций, при котором преподаватель и обучаемые оставались вне учебного класса. Широкополосный Интернет позволил участникам видеоконференцсвязи (ВКС) находиться в домашней самоизоляции, причем зачастую даже на другой стороне планеты. Проведение практических занятий на ФМС в режиме дистанционной подготовки осуществлено быть не может вследствие особенностей традиционного построения ФМС: компьютерные модели функционального поведения и интерфейсов систем транспортного пилотируемого корабля (ТПК) и российского сегмента Международной космической станции (РС МКС), как правило, реализованы на локальных вычислительных средствах (персональных компьютерах).

Вместе с тем, проведенные ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» совместно с ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» экспериментальные исследования характеристик информационной инфраструктуры автоматизированной системы информационного обеспечения подготовки космонавтов (АСИОПК) показали возможность реализации распределенного моделирования систем и режимов и отображения интерфейсов космонавтов в интересах создания интегрированных тренажерных комплексов [1].

Также в соответствии с разработанной концепцией создания цифрового тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения для подготовки космонавтов предлагается формирование подсистемы учебно-тренажерно-моделирующего комплекса (УТМК-4), где средства коллективного пользования не переносятся на базу космодромов Восточный и Байконур, а используются ресурсы центра обработки данных (ЦОД) ФГБУ «НИИ ЦПК

имени Ю.А. Гагарина» с обеспечением обмена с терминальным оборудованием в реальном масштабе времени по высокоскоростным каналам связи [2]. При этом вся обработка и хранение данных происходят в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», а результаты расчетов и моделирования передаются на технические средства подготовки (ТСПК) космодромов с применением технологий виртуализации, при этом непосредственный доступ осуществляется преимущественно удаленно с использованием специализированных клиентских устройств.

Цели, которые ставятся в данной работе, и способы их достижения схожи с установками приоритетного проекта в области образования «Современная цифровая образовательная среда», суть которого состоит в качественном и доступном онлайн-обучении граждан страны с помощью цифровых технологий [3].

Таким образом, реализация структуры и программных модулей ФМС в интересах проведения дистанционных занятий с космонавтами является составной частью создания интегрированного цифрового тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения, а решение этой актуальной в настоящее время задачи позволит включить ФМС в дистанционную подготовку космонавтов.

### **Имеющийся опыт и задел в проведении работ рассматриваемого направления**

Предлагаемые подходы, алгоритмы и решения по созданию единого интегрированного УТМК разработаны и апробированы ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» в ходе проведенных НИР и ОКР по данному направлению с 2010 года по настоящее время.

В рамках выполнения совместных с ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» работ ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» в 2015 году была выполнена НИР «Исследование по определению основных направлений совершенствования тренажерной базы ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», а также проведено тестирование ИТ-инфраструктуры автоматизированной системы информационного обеспечения подготовки космонавтов для оценки возможности использования существующих каналов локальной вычислительной сети (ЛВС), волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и средств доступа АСИОПК в интересах реализации интегрированных ТСПК [1, 4]. АСИОПК позволяет организовать каналы связи с другими тренажерами и общей информационной средой, а множество клиентов распределенной среды моделирования образует информационное пространство всех используемых тренажеров посредством физических каналов связи. В результате выполнения указанных работ получены сведения о производительности протоколов удаленного доступа, создаваемой нагрузке на вычислительные ресурсы и сетевую инфраструктуру. Процедура

тестирования представляла собой серию запусков программного обеспечения тренажеров со снятием показателей нагрузки на порты сетевого оборудования и показателей использования ресурсов виртуальных машин и тестового сервера в трех режимах эксплуатации (простой в активной сессии, запуск тренажерного ПО и активная работа).

В 2016 году был создан стенд для отработки технических и программных решений единого интегрированного УТМК на базе ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала» (рис. 1). Стенд использует аппаратные ресурсы центра обработки данных организации, на котором проверялись параметры, характеризующие производительность, адекватность и качество отработки всего специализированного программного обеспечения (ПО), скорости обмена, загрузки оборудования и сетевых каналов [2]. Следует отметить, что до интеграции в единый комплекс каждая из составных частей стенда имела собственную автономную вычислительную систему, построенную на стандартных персональных компьютерах.

В 2017 году в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» создан комплекс автоматизированных средств управления процессом подготовки спецконтингента (КАСУППС), который обеспечивает информационную взаимосвязь с Центром управления полетами (ЦУП, г. Королев). При этом, данный комплекс успешно использует средства виртуализации ЦОД АСИОПК для доступа к виртуальным машинам рабочих мест персонала КАСУППС, которые, в свою очередь, подключаются к удаленным рабочим столам ЦУПа.



Рис. 1. Пример унифицированного рабочего места на основе тонкого клиента системы виртуализации и беспроводного клиента на Android планшете (прототип на базе ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала»)

## Технический облик учебного комплекса подготовки космонавтов с возможностью дистанционного доступа

В состав учебного комплекса войдут следующие компоненты (рис. 2):

- 1) унифицированные классы подготовки космонавтов;
- 2) виртуальный вычислительный комплекс (ВВК) – 1 шт.;
- 3) сетевая инфраструктура передачи данных – 1 шт.;
- 4) специальное программное обеспечение в составе:
  - доработанных ФМС (состав и количество ФМС определяется по согласованию с ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»);
  - системы обеспечения информатизации подготовки космонавтов (состав и назначение систем подлежит уточнению на этапе выполнения работы).

Унифицированные классы подготовки космонавтов представляют собой специализированные мультимедийные аудитории, оснащенные техническими и программными средствами для проведения занятий теоретической и практической подготовки, в том числе в режиме дистанционных занятий (с привлечением средств ФМС и других элементов интегрированного тренажерного комплекса).

Такие классы интегрированы с виртуальным вычислительным комплексом, а также общими системами видеонаблюдения за ходом проведения занятия и видеоконференцсвязи (ВКС). Оборудование классов подготовки космонавтов оснащено программным обеспечением для проведения занятий, а также для организации и проведения сеансов ВКС. С использованием рабочих мест класса ведется подготовка учебных и презентационных материалов с помощью соответствующего программного обеспечения.



Рис. 2. Укрупненная структура комплекса дистанционного проведения подготовки космонавтов

Как показано на рисунке 2, в состав ВВК входит системное программное обеспечение и технологическое ПО для подготовки и проведения занятий. На базе ВВК функционирует программное обеспечение ФМС и систем обеспечения информатизации подготовки космонавтов.

Системы обеспечения подготовки космонавтов взаимодействуют с базами данных и хранилищами информации. Работа обучаемых космонавтов может быть организована как в рамках унифицированных классов подготовки (на рисунке 2 показано на примере класса 2,  $n$ ), так и в удаленном дистанционном режиме (на рисунке 2 показана на примере класса 1 и удаленных пользователей 1,  $m$ ).

Целесообразность включения в состав рассматриваемого учебного комплекса существующих технических средств подготовки космонавтов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» с обеспечением их интеграции в учебный процесс должна быть рассмотрена отдельно. Следует отметить, что современные технические средства и возможности для этого уже существуют и были обоснованы и показаны в концепции создания единого интегрированного УТМК [2].

В состав унифицированного класса подготовки космонавтов входят следующие компоненты (рис. 3):

- 1) интерактивная учебная доска с разрешением не менее 4К – 1 шт.;
- 2) терминальное оборудование ВКС – 1 комплект;
- 3) IP-камеры класса подготовки космонавтов – не менее 2 шт.;
- 4) дополнительное оборудование класса (профессиональное МФУ и т.д.) – 1 шт.;
- 5) оборудование рабочих мест подготовки космонавтов (на основе ПК или ноутбуков);
- 6) оборудование защищенной беспроводной связи Wi-Fi – 1 комплект;
- 7) системное и специальное программное обеспечение – 1 комплект.

Системное и специальное программное обеспечение унифицированных классов подготовки космонавтов должно включать в себя:

- 1) операционные системы;
- 2) офисные средства;
- 3) клиенты доступа к системе виртуализации (при необходимости);
- 4) клиенты доступа к комплексу систем обеспечения информатизации подготовки космонавтов.

Виртуальный вычислительный комплекс является ядром всего комплекса проведения подготовки космонавтов и представляет собой набор высокопроизводительных серверов, сетевого оборудования, средств хранения и резервного копирования и обеспечения безопасности информации.

Виртуальный вычислительный комплекс решает следующие основные задачи:

- 1) функционирование программного обеспечения дистанционной подготовки (в том числе ВКС) и подготовки учебных и презентационных материалов;

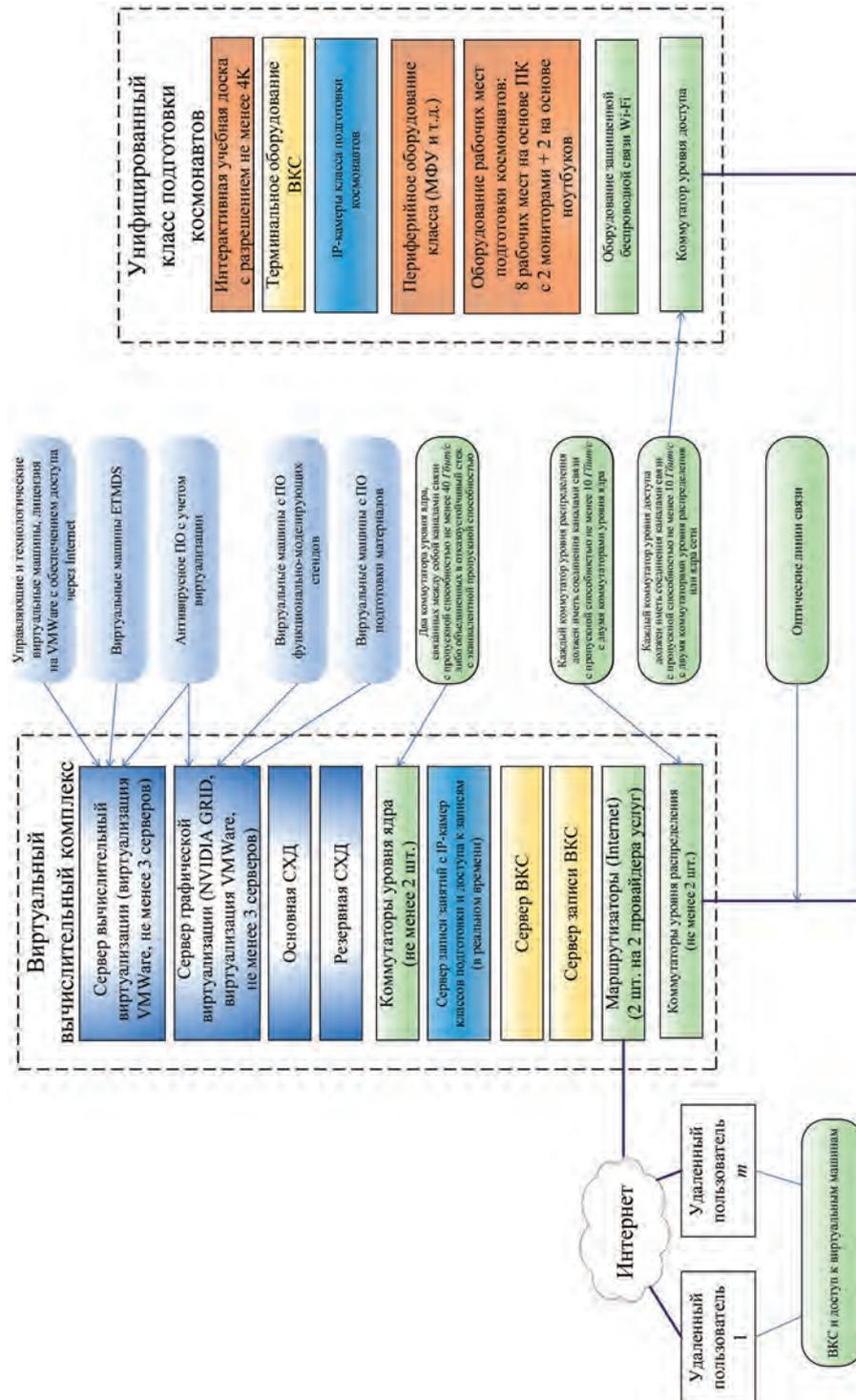


Рис. 3. Структура аппаратных средств проведения комплекса подготовки космонавтов с возможностью дистанционного доступа

2) функционирование средств обеспечения доступа и информационной безопасности;

3) хранение и регламентированный доступ ко всей организационно-методической, учебной, технической и бортовой документации;

4) обеспечение дистанционного доступа пользователей к ресурсам комплекса, в том числе при поведении занятий;

5) функционирование математических моделей ФМС, размещенных на наборе виртуальных машин.

Структура и состав аппаратных средств ВВК из состава комплекса проведения подготовки космонавтов приведена на рисунке 3.

Комплекс систем обеспечения информатизации подготовки космонавтов будет включать в себя следующие информационные системы и базы:

– систему предоставления учебных материалов ограниченного распространения;

– систему дистанционной подготовки и подготовки учебных и презентационных материалов;

– систему хранения и доступа к организационно-методической, учебной, технической и бортовой документации;

– централизованную базу данных результатов выполнения программы космического полета, экспресс-отчетов, замечаний и предложений экипажей ПКА, НшС в полете, фото- и видеоматериалов с борта МКС;

– автоматизированную информационную систему планирования, учета и контроля подготовки космонавтов.

Следует отметить, что разработка перечисленных выше систем обеспечения информатизации подготовки космонавтов является по сути отдельными работами, выполнение которых в интересах ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» является актуальным в настоящее время. Данное ПО включает в себя все необходимые средства (базы данных и базы знаний), используемые в процессе подготовки космонавтов в виде электронной документации (система предоставления учебных материалов ограниченного распространения, система хранения и доступа к организационно-методической, учебной, технической и бортовой документации), в виде учебных пособий и тестов (система дистанционной подготовки учебных и презентационных материалов) и т.д.

Оптические линии связи должны объединять ВВК и унифицированные классы подготовки космонавтов и проходить по территории ЦПК имени Ю.А. Гагарина, образуя сеть передачи данных комплекса проведения подготовки космонавтов с возможностью доступа к ресурсам комплекса из сети Интернет.

Для обеспечения безопасности работы пользователей в части дистанционного доступа в составе комплекса должны быть решены вопросы информационной безопасности с применением средств обеспечения доступа, авторизации пользователей и актуальных методик антивирусной защиты.

Удаленные пользователи для дистанционной работы должны быть оснащены клиентами видеоконференцсвязи и клиентами доступа к системе виртуализации (работа с элементами ФМС).

Программное обеспечение существующих ФМС дорабатывается для размещения в рамках ВВК (рис. 4), при этом список конкретных ФМС подлежит уточнению и согласованию. Доработке подлежат только интерфейсы взаимодействия с пользователем, а содержание и логика работы моделей останутся прежними.

Рассмотрим пример работы учебного комплекса подготовки космонавтов с онлайн-доступом на основе использования одного из ФМС, эксплуатируемого в 5-м управлении ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина». Следует отметить, что работа других ФМС и виртуальных тренажеров может быть организована по аналогичному алгоритму.



Рис. 4. Структура разрабатываемого (дорабатываемого) программного обеспечения

### **Использование специального программного обеспечения ФМС «Наука» в рамках разрабатываемого комплекса**

В настоящее время в ФМС «Наука» используются высокопроизводительные персональные компьютеры на рабочих местах для 3D-моделирования. Взаимодействие между рабочими местами осуществляется посредством вычислительной сети и передачи команд между отдельными рабочими местами и местом руководителя обучения. Взаимодействие и удаленная работа с результатами графических расчетов в настоящее время невозможны, также невозможно применение мобильных устройств (планшетов, нетбуков, смартфонов) для работы с высокопроизводительным 3D-приложениями. Такая организация учебного класса в принципе не поддерживает серверные технологии для выполнения своих функциональных задач (расчета 3D-графики) и онлайн-доступ [5, 6].

В рамках предлагаемой концепции создания учебного комплекса подготовки космонавтов с возможностью дистанционного доступа программное обеспечение рабочих мест обучаемых, а также другое вспомогательное ПО ФМС «Наука», необходимо перенести на централизованный сервер, поддерживающий виртуализацию и выполнение графических задач (рис. 5).

При этом на одном сервере организуется до 16 виртуальных машин с графическими процессорами (зависит от конкретной конфигурации оборудования сервера) с возможностью переноса и запуска ПО системы виртуальной реальности с последующим доступом с устройств пользователей.



Рис. 5. Действующий прототип ФМС на основе применения технологий виртуализации, тонких клиентов и набора графических и вычислительных серверов (тестовый стенд на базе ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала»)

Предлагаемые технические и программные решения из состава комплекса проведения подготовки космонавтов позволят решить задачи подготовки на современном уровне развития технических средств, обеспечить возможности дистанционного доступа и внедрить в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» принципиально новые подходы при разработке и использовании средств подготовки космонавтов:

- применение технологий виртуализации позволит обеспечить выделение необходимого количества ресурсов для функционирования компонент изделия «ФМС Наука»;

- применение планшетных компьютеров (или ноутбуков) в рамках защищенной беспроводной сети Wi-Fi позволит инструктору или руководителю обучения проводить контроль и управление работой систем без привязки к конкретному рабочему месту в рамках доступности беспроводной сети;

- применение централизованных систем хранения данных (СХД) позволит удовлетворить потребности в хранении и обработке больших объемов материала, баз данных, систем хранения медиаконтента, а также реализовать механизмы резервного копирования данных;

- возможность перемещения программного обеспечения всех систем виртуальной реальности и моделирования в виртуализированные структуры вычислительных и графических серверов без потерь в производительности за счет использования специализированных протоколов обмена и оборудования;

- возможность получить доступ с любого устройства – тонкого клиента, размещенного на рабочем месте, планшета, ноутбука или смартфона, независимо от операционной системы по проводным и беспроводным каналам ЛВС;

- возможность использования единой инфраструктуры ВВК, повышения плотности пользователей ресурсов, экономии электроэнергии, пространства, оптимального использования вычислительных и графических ресурсов и высокой надежности аппаратуры;

- использование возможности системы виртуализации для удаленного доступа (через сеть Интернет) к виртуальным машинам рабочих мест обучаемых ФМС «Наука» с целью организации дистанционных учебных сессий.

В связи с этим появляется возможность получения доступа к виртуальным машинам ФМС с персональных компьютеров, ноутбуков и планшетов как приносимых обучаемыми, так и находящихся в составе унифицированных учебных классов, при этом обеспечивается доступ дистанционным (удаленным) пользователям.

Структура трансформации ФМС из текущего состояния (существующий ФМС «Наука» будет сохранен в прежнем виде) в новые программно-технические средства показана на рисунке 6.

Как показано на рисунке 6, в настоящее время реализуется подход к проведению занятий непосредственно на рабочих местах учебных аудиторий ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», когда обучаемые космонавты работают с программным обеспечением ФМС на персональных компьютерах.

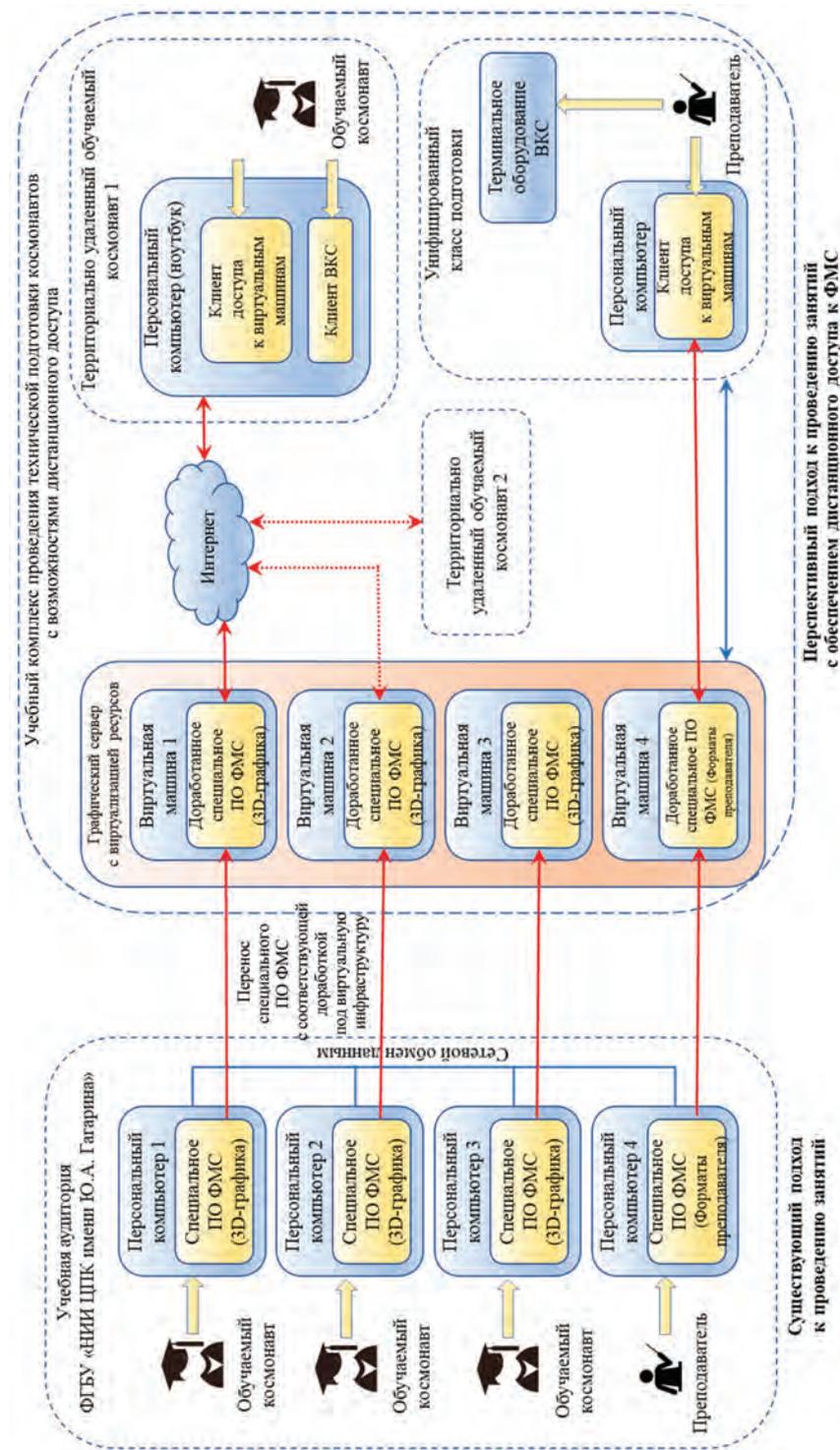


Рис. 6. Схема трансформации ФМС «Наука» в состав предлагаемого учебного комплекса

В случае переноса специального ПО ФМС (с соответствующей доработкой под виртуальную инфраструктуру) все программное обеспечение размещается на виртуальных машинах графического сервера ВВК с сохранением функционала по отработке тех или иных действий и процесса обучения.

Перспективный подход к проведению занятий с обеспечением дистанционного доступа к ФМС заключается в следующем:

1) преподаватель, используя персональные компьютеры унифицированного класса подготовки, подключается к виртуальным машинам ФМС ВВК и производит необходимые первоначальные действия (загрузку и настройку специального ПО ФМС);

2) преподаватель, используя терминальное оборудование ВКС, устанавливает связь с территориально удаленными обучаемыми космонавтами по заранее согласованному регламенту;

3) в течение вводной информации занятия, выдаваемой территориально удаленным обучаемым космонавтам, преподаватель сообщает о необходимости привлечения средств ФМС для демонстрации работ с соответствующим оборудованием или системами;

4) территориально удаленный обучаемый космонавт подключается с использованием клиента доступа к виртуальным машинам к необходимой виртуальной машине ВВК (настройки подключения и регламент использования ВВК сообщается отдельно) и на своем персональном компьютере производит работу с программным обеспечением ФМС так, как если бы он находился в учебной аудитории ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

В приведенном решении каждая из виртуальных машин ВВК с программным обеспечением ФМС может быть закреплена за отдельным обучаемым космонавтом. Процесс работы может регистрироваться средствами ВВК, а также оцениваться преподавателем с использованием программных средств захвата экрана в реальном времени, т.е. преподаватель может помимо канала видеосвязи и живого общения наблюдать работу каждого из обучаемых космонавтов в программном обеспечении ФМС. Эта информация может быть выведена, в том числе, на систему коллективного отображения (интерактивную панель унифицированного класса подготовки) в процессе проведения экзаменационных или зачетных занятий.

## **Выводы**

Пандемия определила новые требования к организации и проведению подготовки космонавтов, идет поиск новых форм и методов работы, современных технических средств, которые помогли бы инструкторско-преподавательскому составу лучше реализовать процесс обучения.

Опыт организации и проведения занятий с космонавтами и астронавтами в период пандемии (в том числе за счет использования ВКС) и имею-

щийся задел в разработках учебно-тренажерно-моделирующего комплекса позволяет говорить о необходимости и принципиальной возможности создания учебного комплекса проведения подготовки космонавтов с возможностями использования дистанционных форм обучения.

Разработку составных частей учебного комплекса проведения подготовки космонавтов с возможностями дистанционного доступа в части ВВК и необходимого количества унифицированных классов подготовки с соответствующей доработкой ФМС можно выполнить на базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» для обеспечения возможности проведения занятий с привлечением территориально удаленных обучаемых космонавтов.

Разработка систем обеспечения информатизации подготовки космонавтов является, несомненно, актуальной задачей, решение которой будет способствовать расширению возможностей учебного комплекса подготовки космонавтов с онлайн-доступом.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ковригин С.Н., Янюшкин В.В. Основы анализа ИТ-инфраструктуры открытого контура автоматизированной системы информационного обеспечения подготовки космонавтов для создания интегрированного тренажерного комплекса // Программные продукты и системы. – 2015. – № 4. – С. 16–21.
- [2] Шукшунов В.Е., Янюшкин В.В., Чуланов А.О. Основы создания цифрового тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения для подготовки космонавтов. – М.: Инновационное машиностроение, 2020. – 248 с.
- [3] Nataliia E. Ovchinnikova, Oxana P. Ovchinnikova, Maxim M. Kharlamov. Analyzing Key Tools for Digital Transformation of Educational and Scientific Organizations // The International Scientific and Practical Forum “Industry. Science. Competence. Integration”. ISCI 2019: Industry Competitiveness: Digitalization, Management, and Integration, pp. 728–735.
- [4] Основы анализа и проектирования ИТ-инфраструктуры для интегрированного тренажерного комплекса подготовки космонавтов / Шукшунов В.Е., Янюшкин В.В., Харламов М.М., Хрипунов В.П., Наумов Б.А., Ковригин С.Н. // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 3. – С. 65–82.
- [5] Васильев В.И., Попова Е.В., Сабуров П.А. Основы создания и совершенствования технических средств подготовки космонавтов к выполнению научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 1(34). – С. 72–85.
- [6] Сабуров П.А., Попова Е.В. Развитие комплекса функционально-моделирующих стендов для подготовки космонавтов по космическим экспериментам и научной аппаратурой на РС МКС // Пилотируемые полеты в космос. Материалы XIII Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 109–110.

#### REFERENCES

- [1] Kovrigin S.N., Yanushkin V.V. Fundamentals of Analyzing the IT-infrastructure of an Automated Information Support System's Open Loop for Cosmonaut Training in Order to Create an Integrated Simulation Complex. – 2015. – No 4. – pp. 16–21.

- [2] Shukshunov V.E., Yanushkin V.V., Chulanov A.O. Fundamentals of Creating the New Generation Digital Simulation Complex for Cosmonaut Training. – M.: Innovative Mechanical Engineering, 2020. – p. 248.
- [3] N.E. Ovchinnikova, O.P. Ovchinnikova, M.M. Kharlamov. Analyzing Key Tools for Digital Transformation of Educational and Scientific Organizations // The International Scientific and Practical Forum “Industry. Science. Competence. Integration”. ISCI 2019: Industry Competitiveness: Digitalization, Management, and Integration, pp. 728–735.
- [4] Fundamentals of Analyzing and Designing the IT-infrastructure of an Integrated Simulation Complex for Cosmonaut Training / Shukshunov V.E., Yanushkin V.V., Kharlamov M.M., Khipunov V.P., Naumov B.A., Kovrigin S.N. // Manned Space Flights. – 2018. – No 3. – pp. 65–82.
- [5] Vasiliev V.I., Popova E.V., Saburov P.A. Fundamentals of the Creation and Improvement of Technical Facilities to train Cosmonauts for Performing Scientific Applied Research and Experiments Aboard the ISS RS // Manned Space Flights . – 2020. – No 1(34). – pp. 72–85.
- [6] Saburov P.A., Popova E.V. Development of the Functional-Modeling Complex to Train Cosmonauts for Space Experiments and Scientific Equipment of the ISS RS / Manned Space Flights. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Scientific Applied Conference. – 2019. – pp. 109–110.