

УДК 004.72

Дата подачи статьи: 09.09.15

DOI: 10.15827/0236-235X.112.005-015

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.Е. Шукишунув, д.т.н., профессор, генеральный директор, v.shukshunov@simct.ru;

В.В. Янушкин, к.т.н., зам. генерального директора, v.yanushkin@simct.ru

*(Центр тренажеростроения и подготовки персонала,
ул. Первомайская, 92, г. Москва, 115088, Россия)*

В статье рассматриваются подходы к созданию учебно-тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения в НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина на базе современных технических и программных решений. Приведены подходы к декомпозиции задач проектирования учебно-тренажерно-моделирующего комплекса нового поколения на основе нескольких взаимосвязанных этапов решения определенных задач. Дается краткий анализ создания и эксплуатации нескольких поколений тренажерных комплексов для подготовки космонавтов, в том числе с точки зрения использования в них интегрирующих принципов. Предлагается алгоритм интеграции существующих и эксплуатируемых технических средств подготовки космонавтов в единый тренажерный комплекс, при этом рассматриваются понятие «шлюз» и современные технологии вычислений, в том числе применение виртуализации и набора специализированных технических и программных средств. Приводится перспективная структура учебно-тренажерно-моделирующих комплексов, каждый из которых представляет собой отдельную составную часть, решающую определенный круг задач, особое внимание уделяется «сравнению» образовательного и тренажерного процессов при подготовке специалистов. В заключение приводится состав экспериментального стенда, на базе которого апробировались все предлагаемые решения по созданию учебно-тренажерно-моделирующего комплекса. Описываются полученные результаты, которые отражают принципиально новые решения, в том числе применение централизованных расчетов единой вычислительной системы, применение на рабочих местах тонких клиентов. В процессе работы анализируются загрузка ресурсов, сетевых каналов передачи данных и других критических параметров. Отмечается высокая оценка многими экспертами в области информационных технологий результатов проведенных работ для создания экспериментального стенда.

Ключевые слова: учебно-тренажерно-моделирующий комплекс, технологии виртуализации ресурсов, технические средства подготовки космонавтов, интеграция автономных тренажеров, единая программно-аппаратная инфраструктура.

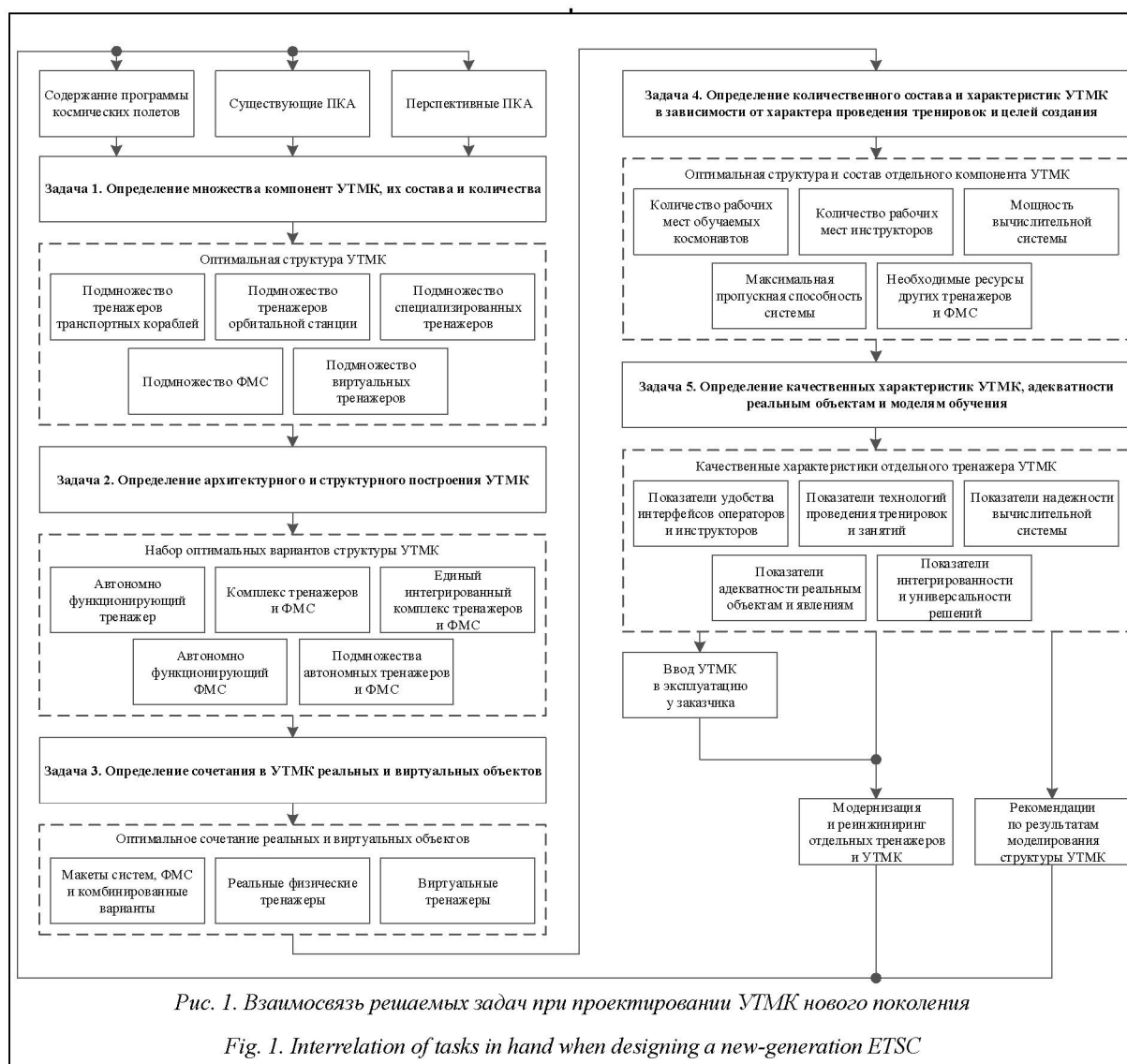
При разработке новых тренажеров, функционально-моделирующих стендов (ФМС) и специализированных комплексов в рамках единой инфраструктуры учебно-тренажерной базы необходимо создать теоретические основы проектирования. Для этого может быть использована декомпозиция этапов проектирования с целью упрощения последующего использования, модернизации и развития.

На рисунке 1 показана взаимосвязь основных задач в процессе проектирования учебно-тренажерно-моделирующего комплекса (УТМК) нового поколения, при этом каждая из них представляет собой отдельную теоретическую проблему в комплексе, составляющую один из этапов разработки. Исходными данными для проектирования являются программы космических полетов, а также существующие и перспективные пилотируемые космические аппараты (ПКА). После формулировки каждой задачи показаны результаты оптимальных выбранных структур и показателей этапа проектирования. Как видно из рисунка, даже после окончания разработки и ввода в эксплуатацию УТМК возможна его дальнейшая неоднократная модернизация в соответствии с введенными новыми задачами и требованиями без разрушения существующих технологических и программных решений. Одним из вариантов является создание имитационной модели полного цикла проектирования и разработки

сложного распределенного тренажера, позволяющей оценить ожидаемые технико-экономические показатели и эффективность решений до их непосредственной реализации у заказчика с выдачей рекомендаций и корректировкой исходных данных и целей создания УТМК.

Содержание программ космических полетов, типы и количество участвующих в их реализации ПКА определяют, какое количество и типы тренажеров и систем обучения необходимы для реализации этих программ. Оптимальную структуру УТМК целесообразно представить в виде набора подмножеств: подмножества тренажеров транспортных космических кораблей, подмножества тренажеров международных космических станций (МКС), подмножества специализированных тренажеров, ФМС и систем виртуальной реальности. Данные подмножества определяют состав тренажерного, научного и образовательного модулей тренажера нового поколения [1].

Далее решается задача анализа возможных вариантов структурного построения УТМК, когда комплекс тренажеров представляет собой простой набор автономно функционирующих тренажеров, единый интегрированный тренажерный комплекс, формируемый из типовых программно-аппаратных модулей, имеющих стандартный интерфейс. Возможна комбинация структуры построения, сочетающей в себе как локальные тренажеры, так и еди-



ные тренажерные комплексы, а также объединение автономных тренажеров в самостоятельное подмножество, которое интегрируется с помощью локальной вычислительной сети (ЛВС) с другими УТМК. На данном этапе по сути рассматриваются варианты системы интеграции модулей (или ее наличие), которая будет являться центральным, объединяющим потоки информации составным компонентом. При использовании единого распределенного информационного пространства, интегрирующего существующие учебную и тренажерную базы, система интеграции модулей каждого тренажера связана набором интерфейсов с составными частями общего информационного пространства с помощью специализированного ПО.

Задача определения сочетания в УТМК реальных и виртуальных объектов, с одной стороны, решает вопросы минимизации финансовых затрат на создание УТМК, а с другой – максимизирует критерий полноты подготовки экипажей космонавтов к полному объему выполнения космической программы, особенно в части нештатных и аварийных

ситуаций, которые трудно реализуются на физических тренажерах, но возможны на виртуальных.

Задачи определения количественного состава и характеристик УТМК в зависимости от характера проведения тренировок и целей создания определяют такие параметры, как оптимальный поток тренировок, обуславливающий количество космонавтов, одновременно использующих программно-технические средства УТМК, обеспечение максимальной пропускной способности, количество рабочих мест инструкторов, мощность и характеристики вычислительных ресурсов для обработки информации и пропускная способность вычислительной системы, а также ЛВС. При проектировании эти требования определяют состав ресурсов, выделяемых из общего центра обработки данных (ЦОД) учебно-тренажерной базы, или ресурсов, которые необходимо добавить в ЦОД с последующим выделением виртуальных серверных мощностей для вычисления, обработки данных, хранения БД. Также, исходя из этого, определяются нагрузка на каналы связи и возможности сетевой подсистемы единой учебно-тренажерной

базы с учетом внешних подключений по проводным и беспроводным каналам связи множества пользователей.

Определение качественных характеристик УТМК, адекватности реальным объектам и моделям обучения, в том числе по критериям интерактивности тренировочного процесса, дистанционного доступа к ресурсам, максимальной адекватности реальному объекту, современным технологиям проведения тренировок, адаптивности тренировочного процесса в зависимости от результатов оперативного тестирования и оценки действий космонавта в процессе тренировки, а также общей надежности комплекса

с точки зрения программных и технических средств отражается уровнем проектирования модуля управления тренировками и занятиями, а также информационными и обеспечивающими системами тренажера нового поколения.

Поэтапная проработка каждой из перечисленных задач с выходными результатами, связывающимися в общую идеологию состава модулей УТМК нового поколения, аппаратно и программно интегрированного в единый ЦОД учебно-тренажерной базы ЦПК им. Ю.А. Гагарина (далее ЦПК), позволит получить высокую эффективность использования проектируемых тренажеров в подготовке космонавтов.

Для определения конкретных технических предложений для проектирования УТМК нового поколения на базе имеющихся учебной и тренажерной баз ЦПК необходимо провести анализ существующих в проектировании и разработке тренажерных комплексов подготовки космонавтов подходов, а также выявить особенности развития и эксплуатации комплексов.

Исторические аспекты проектирования нескольких поколений тренажерных комплексов

Относительно технических и учебно-методических средств подготовки космонавтов ЦПК никогда не отставал от требований времени, от зарубеж-

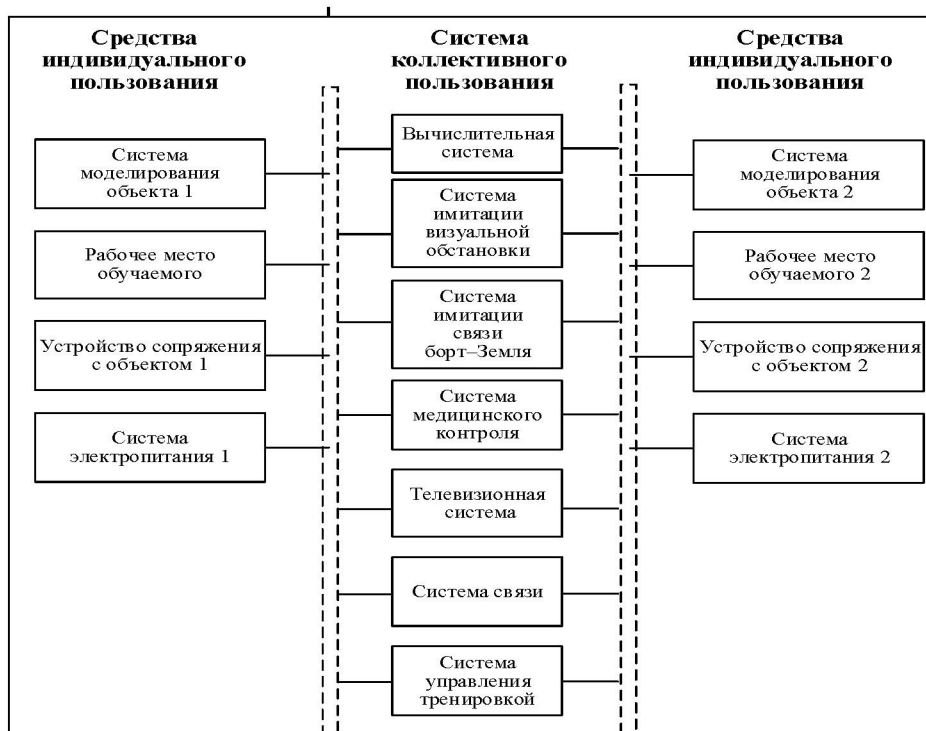


Рис. 2. Типовой состав подсистем индивидуального и коллективного пользования космического тренажера

Fig. 2. A type composition of space simulator private and multiple-access subsystems

ных средств подготовки astronauts. Все *технические средства подготовки космонавтов* (ТСПК) были построены на базе современных достижений науки, новых принципов и эффективных технологий, при этом они и сейчас не уступают ТСПК зарубежных astronauts [2, 3].

Однако требования к содержанию и объему средств подготовки космонавтов постоянно растут. К тому же нельзя не принимать во внимание появление новых средств обработки информации и информационных технологий.

Более 35 лет назад вышло специальное Постановление Совета министров СССР о создании *тренажерно-моделирующего комплекса* (ТМК). Данная задача усилиями коллективов ЦПК (ныне – ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина») и ОКБ «Орбита» (сегодня – ООО «Центр тренажеростроения и подготовки персонала») – головной организации по созданию ТМК – была решена в течение 1980–1986 гг. [3, 4]. Основная идея его построения состояла в том, что весь состав средств тренажера разделялся на два класса (рис. 2): средства коллективного пользования, которые можно унифицировать и использовать в разных тренажерах при проведении тренировок экипажей космонавтов, и средства индивидуального пользования, жестко связанные с одним конкретным тренажером.

Построение тренажерной системы, ориентированное на интеграцию тренажерных средств (систем коллективного пользования), целесообразно с точки

зрения как экономии средств, так и возможностей комплекса: количество средств коллективного пользования можно уменьшить в несколько раз, ограничивая их числом одновременно работающих тренажеров; при технических отказах и неисправностях можно использовать другой аналогичный ресурс; уменьшение объема технических средств влечет за собой сокращение численности эксплуатационного персонала; появляется возможность реализации режима совместной работы тренажеров и взаимодействия их экипажей при отработке задач, требующих координации [5].

Данные принципы были использованы начиная с тренажерного комплекса «Белладонна», который был разработан и создан ОКБ «Орбита» в начале 80-х годов XX века для построения на его базе тренажеров для подготовки космонавтов по программе «Долговременная орбитальная станция «Салют». В нем функциональные блоки интегрировались в единый комплекс средствами *вычислительной системы* (ВС). Архитектура тренажерного комплекса «Белладонна» в силу модульного построения позволяла проводить непрерывную модернизацию и наращивание количества тренажеров в его составе путем добавления лишь терминальных комплексов *устройств связи с объектами* (УСО) для новых рабочих мест [3].

Топология структуры тренажерного комплекса «Ермак-27» (орбитальный комплекс «Мир») практически не изменилась по сравнению с топологией

тренажерного комплекса «Белладонна». Тренажерный комплекс обеспечивал одновременную работу четырех тренажеров, что предоставляло принципиальную возможность взаимодействовать четырем тренирующимся экипажам при выполнении совместных комплексных задач. Входящими в состав тренажерного комплекса «Ермак-27» тренажерами можно было управлять с любого из шести *пультов контроля и управления* (ПКУ), так как фактически все приборы-повторители на ПКУ реализованы на форматах в электронном виде. Аппаратная часть вычислительной системы «Ермак-27» спроектирована по модульному принципу, обеспечивающему высокую гибкость при конфигурировании нескольких тренировочных сессий, горячее резервирование вычислительных средств и простоту наращивания комплекса.

Архитектура ВС ТМК *Российского сегмента* (РС) МКС представляет собой дальнейшее развитие идей ВС «Ермак-27». Особенностью комплекса является высокая степень интеграции его систем. Тренажеры имеют общую систему моделирования, в составе комплекса работает общая *модель бортовой вычислительной системы* (МБВС), а управление бортовым оборудованием осуществляется единым терминальным комплексом УСО (рис. 3). Вычислительные средства ТМК РС МКС объединены общими сетями [3].

С 90-х годов XX века в ЦПК стало привлекаться большое количество организаций и предприятий,

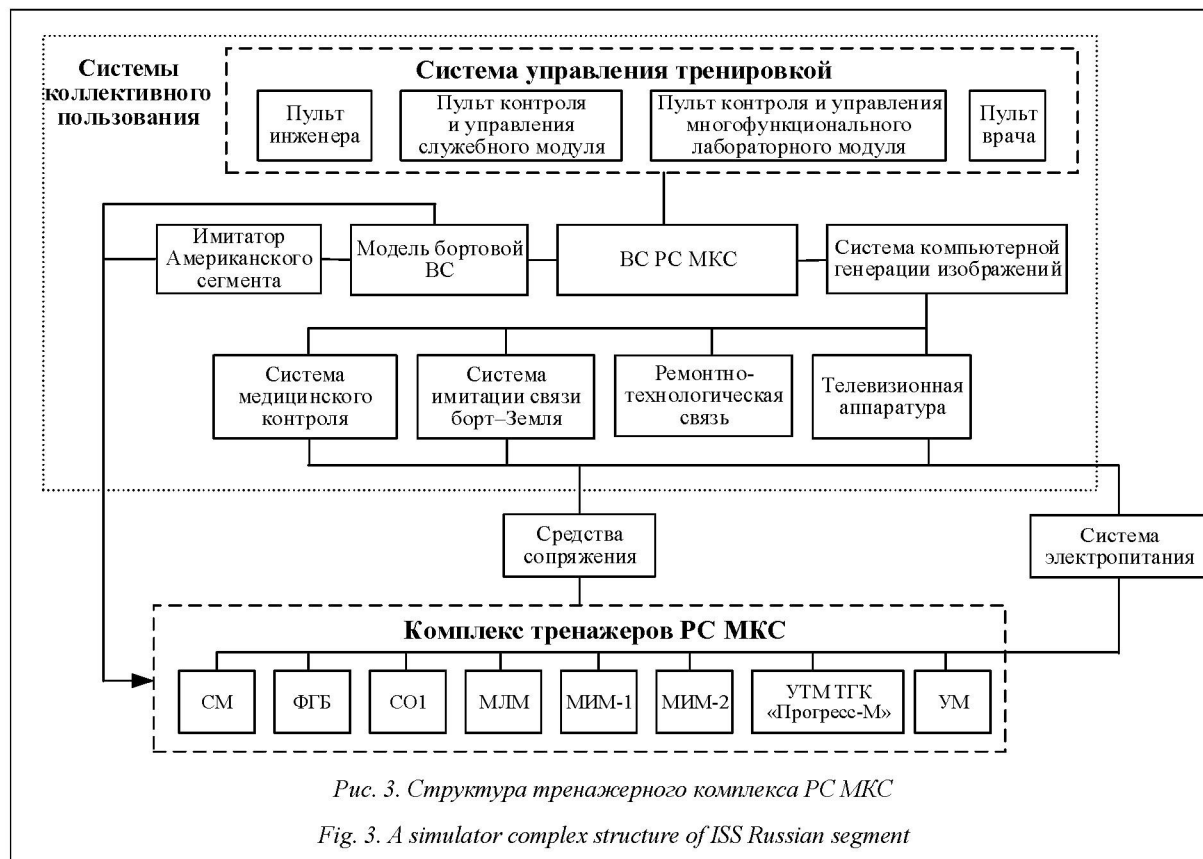


Рис. 3. Структура тренажерного комплекса РС МКС

Fig. 3. A simulator complex structure of ISS Russian segment

создающих ТСПК, что привело к отходу от таких принципов разработки, как унификация, стандартизация, модульность построения, одноразовое проектирование и многократная модернизация космических тренажеров. Следствием этого стало то, что, помимо комплекса РС МКС, начали создаваться локальные (автономные) комплексные и специализированные тренажеры, ФМС.

Таким образом, исторически сложилось так, что комплексы тренажеров космических станций и комплексные тренажеры *транспортных пилотируемых кораблей* (ТПК) создавались обособленно, при этом именно комплексы тренажеров ДОС «Салют», ОК «Мир», РС МКС развивались по идее интеграции программно-технических средств для повышения эффективности их использования.

Тенденция интеграции и объединения ТСПК должна рассматриваться как перспективная и актуальная в настоящее время для ЦПК. Для этого, в первую очередь, нужно обратить внимание на преимущества создания тренажеров в рамках единой системы.

В комплексе тренажеров РС МКС, в который входят в настоящее время восемь тренажеров, используются только три МБВС (разных версий), только два пульта контроля и управления, один пульт врача и ограниченное количество других модулей коллективного пользования. При этом имеется возможность отработки одновременного выполнения в одном или разных модулях нескольких взаимосвязанных полетных операций (а при необходимости и проведения мультиагентных тренировок).

Специализированные тренажеры ТПК «Союз-ТМА» и «Союз-ТМА-2», созданные Центром тренажеростроения и подготовки персонала, также представляют собой единый комплекс, в котором обеспечиваются взаимозаменяемость отдельных систем и одновременная работа экипажей на двух тренажерах, в том числе для отработки выполняемых во взаимодействии задач (например, при возникновении аварийной ситуации и срочном покидании экипажами станции с использованием двух транспортных кораблей), а также при выходе из строя элементов ВС одного из тренажеров. Все это повышает надежность систем, обеспечивая непрерывность подготовки космонавтов, и подтверждает те дополнительные достоинства, которые появляются в ТСПК благодаря интеграционным принципам их построения.

Интеграция – это магистральный путь развития сложных взаимосвязанных систем, в том числе и территориально распределенных систем, ТСПК. Именно поэтому для расширения возможностей создаваемых комплексов, их унификации ставится вопрос о дальнейшей интеграции и формировании в ЦПК распределенной информационно-моделирующей среды, обеспечивающей эффективное и комплексное решение задач теоретической и профес-

сионально-технической подготовки космонавтов на тренажерах и стендах.

Концепция интеграции существующих и эксплуатируемых ТСПК в единый тренажерный комплекс

Решая задачу модернизации ТСПК путем создания единого интегрированного УТМК, следует учитывать то, что практически ничто из ранее созданного в сфере ТСПК, особенно тренажеров, не подлежит замене. В связи с этим методологический подход к модернизации ТСПК в ЦПК должен носить системный характер и осуществляться одновременно по двум направлениям: модернизация ТСПК как способ повышения качества подготовки космонавтов и модернизация как способ повышения эффективности использования ТСПК.

Концептуальной основой модернизации и развития ТСПК является создание распределенной информационно-моделирующей среды, использующей набор универсальных унифицированных интерфейсов и модульный принцип их построения. Необходимо создавать единый интегрированный УТМК, который включал бы в свою структуру как ранее созданные тренажеры и ФМС, так и вновь создаваемые тренажеры и ФМС.

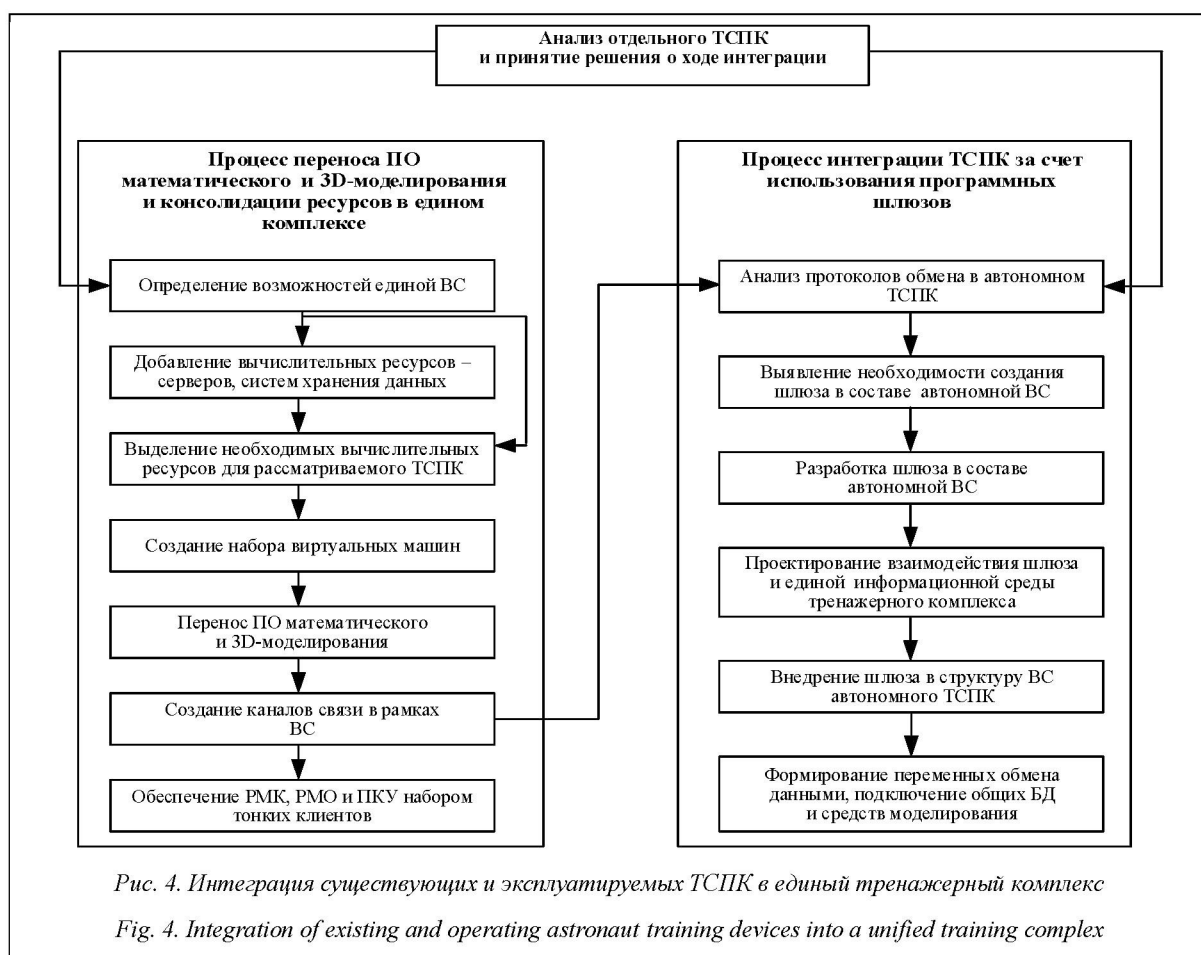
Для этого устанавливаются единые дисциплина и методология в разработке и создании ТСПК, а также исполнение принципов создания новых тренажеров, ФМС и других ТСПК, основанных на модульности, унификации, максимальной стандартизации и коллективном использовании программно-технических средств.

Большое практическое значение имеет разработка подходов к решению проблемы включения в структуру УТМК (или тренажерного комплекса) существующих тренажеров и ФМС, при этом тренировки на них не должны останавливаться. Следует учитывать, что существующее прикладное и специализированное ПО учебно-тренажерной базы ЦПК не должно существенно перерабатываться.

Для решения этих вопросов разработан алгоритм интеграции ТСПК в УТМК (рис. 4), состоящий из двух основных частей: процесса переноса ПО математического и 3D-моделирования и консолидации средств в едином вычислительном комплексе УТМК; процесса интеграции ТСПК за счет использования шлюзов.

Первый вариант в большинстве случаев может быть ориентирован на разработку новых тренажеров, ФМС и средств обучения, а для уже эксплуатируемых в ЦПК ТСПК предложено решать проблему интеграции с помощью шлюзов – программ, обеспечивающих вхождение ранее созданных тренажеров в расширенную информационную среду, единую ЛВС УТМК.

При этом множество не связанных между собой ТСПК объединяются посредством единой системы



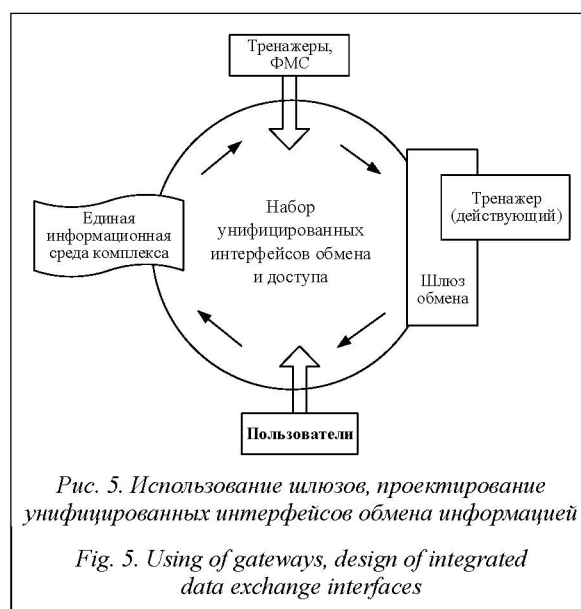
(единая ЛВС, единая БД, единые средства моделирования) с использованием разработанных специализированных программных средств, интегрируемых в качестве шлюза в системы моделирования тренажеров. Множество пользователей получают доступ для работы с выбранными программами, интерфейсами и техническими средствами, входящими в состав учебной и тренажерной баз (рис. 5).

Показанная на рисунке 5 схема отображает использование так называемых шлюзов, которые внедряются в действующие и эксплуатируемые тренажеры.

Шлюз – это специализированное программное средство, обладающее набором унифицированных интерфейсов обмена для обеспечения интеграции информационных потоков тренажера и системы в единую информационную среду.

Реализация каждого конкретного шлюза зависит от набора информационных параметров, которыми будет обмениваться тренажер в процессе своего функционирования с единой информационной средой и другими ТСПК. Таким образом, в ЦПК предлагается концепция трансформации учебных и тренажерных средств подготовки космонавтов в единый интегрированный УТМК посредством использования распределенной сетевой среды моделирования с внедрением ее отдельных компонентов в структуру ВС существующих тренажеров.

Изначально внутренняя интеграция автономных тренажеров достигается применением специализированных ЛВС. После интеграции компоненты единого интегрированного тренажерного комплекса в составе рассматриваемых тренажеров частично используют ВС и сетевую инфраструктуру центрального интегрирующего вычислитель-



ного комплекса. При этом новые тренажеры, полностью построенные с использованием разработанной единой среды моделирования и унифицированных интерфейсов, не требуют включения в свой состав шлюзов, а в существующих тренажерах со своей средой моделирования они необходимы.

Для успешной реализации предлагаемого подхода необходимо использовать новые инновационные технологии, современные технические и программные средства, позволяющие создать единый интегрированный, гибкий, открытый, многофункциональный УТМК нового поколения, который, в свою очередь, обеспечит дальнейшее повышение качества подготовки экипажей космонавтов и эффективность использования всего спектра ТСПК.

Во многом это обусловлено тем, что развитие информационных технологий, а также программной и аппаратной баз ВС вносит изменения в саму концепцию выполнения вычислений, которые становятся распределенными и удаленными от конечного пользователя, в данном случае от обучаемых космонавтов, инструкторов, преподавателей. Все это предполагает применение технологий виртуализации – динамического выделения ресурсов, так называемых облачных вычислений, формирования каналов связи достаточной пропускной способности для передачи конечного результата в виде форматов на экраны пользователей [6].

При решении проблем объединения ТСПК путем создания УТМК нового поколения целесообразно использование единой вычислительной инфраструктуры как базового элемента интеграции множества тренажеров, ФМС, стендов, систем обучения космонавтов с размещением общих БД и моделируемых сущностей в совокупности виртуализированных серверов:

- создание унифицированных рабочих мест ПКУ тренажеров, руководителя обучением в ФМС, рабочих мест обучаемых в ФМС на основе стандартных мебельных конструктивов, с использованием тонких клиентов для отображения форматов и оперативной информации тренажера или ФМС в виде 2D- и 3D-графики, с использованием сенсорных экранов для ввода данных и навигации по управляющим форматам;

- создание единой (общей) ВС, в которой будут размещены все модели бортовых систем, системы визуализации, системы комплексирования, управления тренировками, БД хранения информации об обучаемых и записи проводимых тренировок;

- размещение единой ВС, совместно используемой составными частями УТМК при проведении тренировок и занятий, на аппаратной основе набора вычислительных и графических серверов с подсистемами обеспечения надежности и безопасности.

Именно симбиоз вычислительных и нового типа графических серверов, связанных высокоско-

ростными каналами связи в рамках ЛВС, предоставляет широкие возможности для моделирования, обучения персонала, проведения тренировок, развертывания тренажеров и ФМС различной сложности в рамках единой программно-аппаратной инфраструктуры.

После создания такой единой программно-аппаратной инфраструктуры встает вопрос о технологии использования полученных результатов на рабочих местах, размещенных на территории ЦПК. Для отображения форматов на ПКУ и рабочих местах космонавтов, обучаемых при работе с ФМС, в учебных аудиториях и лабораториях в качестве конечных устройств нужно использовать тонкие клиенты [7]. Это новые устройства без собственных вычислительных мощностей, имеющие возможность отображения и ввода информации с использованием стандартных периферийных устройств – мониторов, клавиатур, джойстиков и т.д. (рис. 6).

Внедрение данных технологий позволит создать единый интегрированный УТМК нового поколения с соответствующей инфраструктурой ЦОД, распределенными технологиями моделиро-



*Тонкий клиент Dell Wyse P25
(управление и контроль форматов)*



*Тонкий клиент Dell Wyse Z90Q8
(3D-графика и высоконагруженное ПО)*



Интегрированный тонкий клиент в конструктиве монитора рабочего места обучаемого в ФМС, виртуального тренажера или элемента ПКУ

Рис. 6. Тонкие клиенты

Fig. 6. Thin clients

вания, едиными интерфейсами, средствами обучения и информационной поддержки космонавтов.

В структуру УТМК нового поколения в ЦПК входит ряд взаимосвязанных функциональных комплексов и систем (см. рис. по адресу <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2015-4-dop/9.jpg>), решающих определенные задачи, обеспечивающие всестороннюю подготовку космонавтов:

- образовательный комплекс, основанный на применении современных технологий обучения с помощью специализированного ПО для проведения занятий в составе оснащенных мультимедийных аудиторий, учебных классов и лабораторий; комплексы учебно-методических материалов;

- ТМК, включающий как физические, так и виртуальные ТСПК (тренажеры, ФМС, стенды);

- научный комплекс, предназначенный для подготовки космонавтов к проведению научных исследований и экспериментов на борту РС МКС и включающий ряд физических и виртуальных тренажеров и установок;

- система управления тренировками и учебными занятиями, представляющая собой автоматизированную систему планирования и управления процессом подготовки космонавтов и реализующая циклы и алгоритмы проведения типовых учебных сессий;

- специализированные БД и информационные системы, обеспечивающие образовательный, тренировочный, научный и управленческий процессы в составе систем видеонаблюдения, контроля экранов, микротелефонной связи между абонентами, а также системы хранения, образующие единое информационное пространство, на базе которого реализуется всесторонняя подготовка космонавтов;

- система интеграции комплексов в единый УТМК, обеспечивающая не только взаимодействие основных комплексов и систем УТМК, но и формирование вариантов структур и тренажеров из отдельных модулей ТСПК в соответствии с текущими целями и задачами подготовки космонавтов и обеспечения их взаимодействия.

Такой состав комплексов обусловлен в том числе необходимостью интеграции программно-технических средств, используемых, с одной стороны, для образовательного процесса (образовательный комплекс), с другой – для подготовки экипажей космонавтов на тренажерах, тренажерных комплексах, ФМС (ТМК), в единый интегрированный УТМК.

Сейчас становится очевидным, что обучение и профессиональная практическая подготовка как в университетах, так и в центрах подготовки специалистов, например в ЦПК, тесно связаны между собой, они протекают последовательно-параллельно, используют в большинстве своем одну и ту же информацию, одни и те же технические и программные средства; информация, программные и технические средства для подготовки космонавтов

имеют двойное назначение – для общекосмической и профессиональной подготовки.

При использовании средств УТМК на этапе общекосмической подготовки кандидатов в космонавты задействуются средства образовательного комплекса для ознакомления с предметной областью на базе специализированных мультимедийных аудиторий и лабораторий, включающих интерактивные обучающие системы с контролем знаний, возможностями отображения и получения в качестве иллюстрирующего материала при проведении занятий централизованных ресурсов систем наблюдения тренажеров, а также обращения к общим БД учебно-методического материала. На этапе подготовки космонавтов в составе групп используются специализированные и комплексные тренажеры, ФМС из состава программно-технических средств тренажерного и научного комплексов.

Научный и образовательный комплексы тесно связаны друг с другом посредством общей информационной среды, интегрирующей системы, единых БД, обеспечивающих поддержку учебного процесса. При этом образовательный комплекс обеспечивает, как правило, теоретическую подготовку обучаемых по дисциплинам, научный комплекс обеспечивает проведение экспериментов, демонстрирует работу моделей систем (работа с оборудованием в рамках научных экспериментов на борту орбитальной станции).

Использование специализированного ПО в рамках образовательного комплекса и системы управления тренировками позволит повысить эффективность процессов подготовки и контроля использования компонент учебной и тренажерной баз.

В отличие от классической схемы организации образовательного процесса, построенной на основе разбоя графика обучения на относительно самостоятельные подэтапы (изучение теории, практические занятия, выполнение больших самостоятельных заданий с элементами профессиональной деятельности), при подготовке космонавтов эти этапы ассимилируются: при изучении теории необходимо демонстрировать работу систем, приемы деятельности и так далее. Следовательно, система должна обеспечивать контроль разнообразных взаимосвязанных видов деятельности и возможность корректировки учебных планов в зависимости от результатов обучения. Использование среды управления задачами позволит обеспечить непрерывность контроля уровня подготовленности космонавтов благодаря возможности создания самых разнообразных типов задач для последующей фиксации и оценки прогресса подготовки.

Экспериментальная проверка основных концептуальных решений

Предлагаемые подходы, алгоритмы и решения разработаны и опробованы ООО «Центр тренаже-

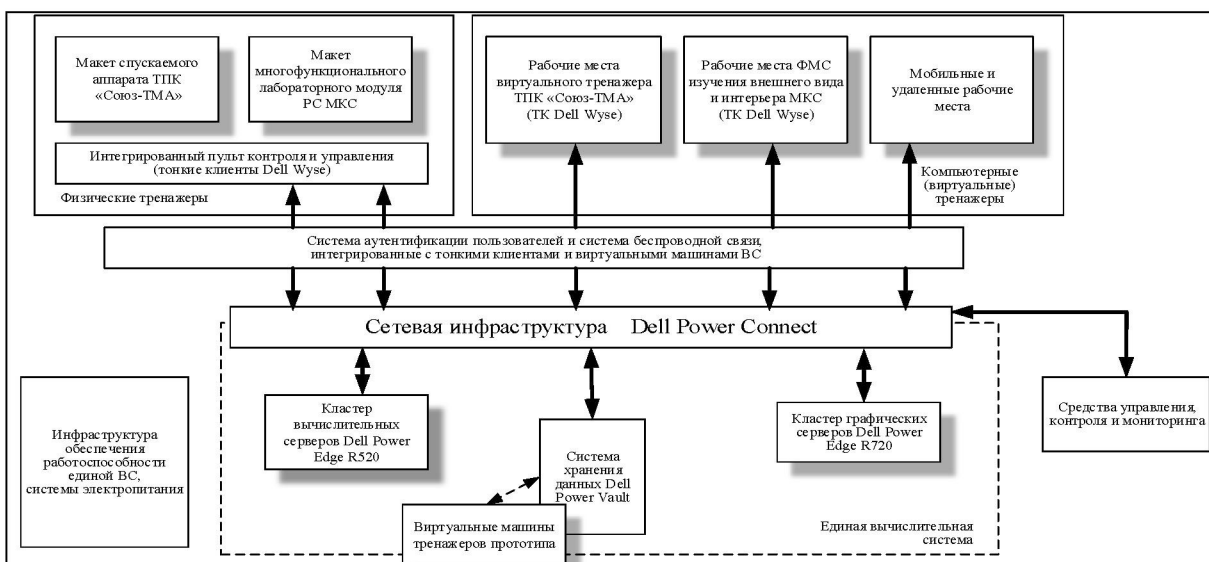


Рис. 7. Состав прототипа интегрированного тренажерного комплекса для отработки основных технических и программных решений

Fig. 7. A composition of an integrated training complex prototype to practice basic technical and software solutions

ростроения и подготовки персонала» в ходе проведенных НИР и ОКР по данному направлению. Функциональная структура прототипа тренажерного комплекса (рис. 7) отвечает всем требованиям разработанной концепции. В состав прототипа входят аналог комплексного тренажера – тренажер ТПК «Союз-ТМА» на основе полномасштабного макета спускаемого аппарата, аналог тренажеров комплекса РС МКС – многофункциональный лабораторный модуль, оснащенный телеоператорным режимом, аналог специализированного тренажера – виртуальный (компьютерный) тренажер сближения и стыковки ТПК «Союз-ТМА», аналог ФМС на основе средств виртуальной реальности – учебный класс изучения внешнего вида и интерьера МКС.

На данном прототипе проверялись прежде всего параметры, характеризующие производительность, адекватность и качество отработки всего специализированного ПО, скорости обмена, загрузки оборудования и сетевых каналов.

Следует отметить, что до интеграции в единый комплекс каждая из составных частей прототипа имела собственную автономную вычислительную систему, построенную на стандартных персональных компьютерах, тренажеры имели автономные собственные ПКУ или рабочие места инструкторов, также построенные на персональных компьютерах различных типов.

При интеграции и создании прототипа проверялись принципы построения на основе концептуальной модели, включающей распределенную информационно-моделирующую среду; проверялся принцип переноса специализированного ПО математического и 3D-моделирования в структуру интегрированного вычислительного комплекса; принципы замены ПК в тренажерах, ПКУ на тон-

кие клиенты. Для этого использовались самые современные инновационные технологии передовых фирм, таких как Dell, VMware и Citrix – это применение высокопроизводительных серверов, технологии выделения графических серверных ресурсов NVIDIA GRID, специализированное ПО систем виртуализации.

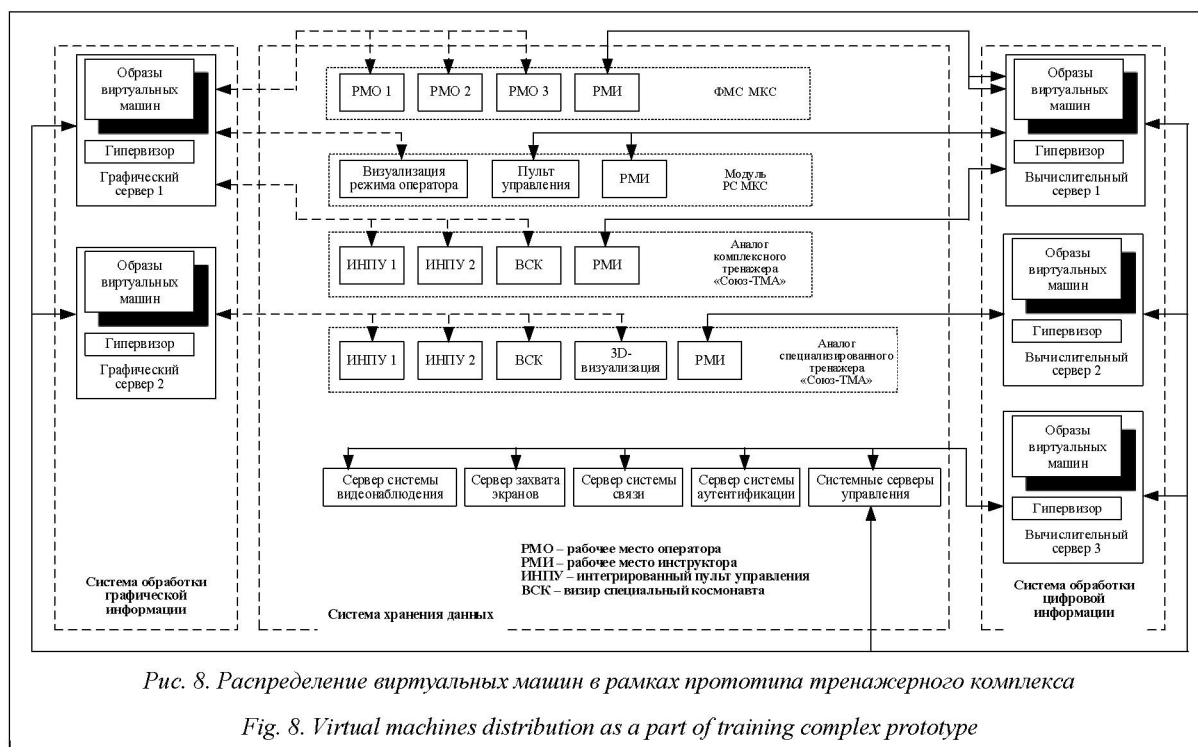
Исходя из требований к производительности ПО тренажеров были созданы соответствующие виртуальные машины (рис. 8) – программные компьютеры, у которых есть свои процессоры, память, дисковое пространство. Как видно на рисунке, виртуальные машины распределяются между вычислительными и графическими серверами.

Основные результаты экспериментальной проверки прототипа:

- структурно созданный прототип включает распределенную информационно-моделирующую среду и единый вычислительный комплекс, рабочие места космонавтов в составе аналогов комплексных и специализированных тренажеров и ФМС, интегрированного ПКУ управления – здесь подтверждается принцип построения единого комплекса на основе сформированной концептуальной модели;

- функционирование ПО математического и 3D-моделирования в едином вычислительном комплексе на созданных конфигурациях виртуальных машин вычислительных и графических серверов подтверждает принцип переноса специализированного ПО в структуру интегрированного вычислительного комплекса и включения в единый комплекс ранее созданных ТСПК;

- использование в качестве устройств доступа к серверным ресурсам на РМК, ПКУ и РМО в стендах тонких клиентов подтверждает принцип за-



мены ПК в тренажерах и ФМС на данные устройства без снижения производительности и качества получаемой на средствах отображения визуальной информации;

- с установленными параметрами виртуальных машин вычислительные ресурсы сервера и оперативная память используются на 70 %, использование же процессорного времени зависит от интенсивности использования тренажеров, но не превышает 50 %; максимальная сетевая нагрузка (порядка 150 Кбит/сек.) достигнута при вызове форматов управления и передаче команд – тест на вычислительном сервере, что доказывает имеющийся запас выделенных ресурсов и достаточную низкую загрузку сетевых каналов, которая не может влиять на недостатки производительности и задержки передачи данных по сети;

- в рабочем состоянии графического сервера рассматриваемых тренажеров и ФМС средняя нагрузка на центральном процессоре колеблется от 30 до 50 %, мгновенные значения могут достигать 70 %; при получении данных с графического сервера наиболее активный сетевой обмен происходит при подключении к виртуальной машине (момент загрузки тонкого клиента и инициализации подключения), то есть именно тогда, когда передается начальный трафик всей рабочей области, отображаемой на мониторе, далее идет оптимизированный поток данных по изменению отдельных элементов; средняя скорость обмена составляет от 1 до 5 Мбит/сек., но мгновенные значения могут достигать 20 Мбит/сек. (при резких изменениях отображаемого изображения на экране, в системе моделирования или действиях оператора) – все это также

доказывают имеющийся запас выделенных ресурсов и показатели загрузки сетевых каналов, позволяющие говорить о достаточной скорости и качестве каналов связи при наличии ЛВС не хуже Gigabit Ethernet в рамках тренажерного комплекса;

- показанный прототип интегрированной ВС тренажерного комплекса, состоящий из двух кластеров (3 вычислительных и 2 графических сервера), включает в среднем по 10 виртуальных машин тренажерного комплекса, при этом общая нагрузка серверов составила не более 40–60 %.

Предлагаемая концепция вполне реализуема, и это заявление базируется на проведенных экспериментах, подтвердивших реализуемость ее основных принципиальных положений. В концепции разработки единого интегрированного УТМК заложена возможность его развития без изменения принципиальных основ, без радикального перепроектирования при включении в его состав новых тренажеров, ФМС, учебно-методических средств с минимальными затратами ресурсов.

УТМК, принципы его создания, применяемые современные информационные технологии, программные и технические средства обеспечивают переход в создании тренажеров, ФМС и других технических средств подготовки и обучения космонавтов, входящих в его состав, к глубокой унификации, модульности построения программно-технических средств, что гарантирует сокращение времени на разработку, проектирование, создание и модернизацию новых тренажеров, тренажерных комплексов и технических средств обучения.

В УТМК обеспечивается возможность использования ЦОД, которые повышают эффективность

использования вычислительных и графических ресурсов, надежность функционирования УТМК в целом и входящих в него специализированных и комплексных тренажеров и других ТСПК.

Основные концептуальные решения неоднократно обсуждались на конференциях и научно-технических советах, проводимых в НИИ ЦПК, а технические решения на основе применения передового оборудования фирмы Dell – на семинарах российского представительства компании Dell. Высокую оценку пилотное внедрение получило также от ведущих мировых компаний в области виртуализации рабочих столов и использования технологии VDI – компании Citrix и лидера в области визуальных вычислений и производства графических карт – компании NVIDIA [8–10].

Литература

1. Шукшунув В.Е., Янюшкин В.В. Учебно-тренажерно-моделирующие комплексы нового поколения для подготовки космонавтов. М.: Машиностроение, 2015. 112 с.

2. Центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина. Официальный сайт. URL: <http://www.gctc.ru> (дата обращения: 17.08.2015).

3. Шукшунув В.Е., Циблев В.В., Пототский С.И. Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.

4. Наумов Б.А., Шевченко Л.Е. Космические тренажеры. Этапы развития. Звездный городок: Изд-во НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2008. 178 с.

5. Наумов Б.А. Космические тренажеры. Звездный городок: Изд-во НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, 2013. 214 с.

6. Анализ современных технологий виртуализации. URL: <http://habrahabr.ru/company/centosadmin/blog/212985/> (дата обращения: 17.08.2015).

7. Продукция. URL: http://www.wiat.ru/products/tonkie_klienty/wyse/ (дата обращения: 17.08.2015).

8. Citrix и NVIDIA | NVIDIA. URL: <http://www.nvidia.ru/object/citrix-desktop-vdi-case-studies-ru.html> (дата обращения: 17.08.2015).

9. Citrix и NVIDIA провели семинар для сервис-провайдеров. URL: <http://www.bytemag.ru/press/detail.php?ID=27853> (дата обращения: 17.08.2015).

10. IT Solutions – Center of Simulator and Training – Case Study – Citrix. URL: <http://www.citrix.ru/customers/center-of-simulator-and-training-ru.html> (дата обращения: 17.08.2015).

DOI: 10.15827/0236-235X.112.005-015

Received 09.09.15

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR DEVELOPMENT OF THE NEXT-GENERATION EDUCATIONAL TRAINING AND SIMULATION COMPLEX

Shukshunov V.E., Dr.Sc. (Engineering), Professor, Director General, v.shukshunov@simct.ru;

Yanyushkin V.V., Ph.D. (Engineering), Deputy General Manager, v.yanyushkin@simct.ru

(The Center for Space Simulator Development and Personnel Training,

Pervomayskaya St. 92, Moscow, 115088, Russian Federation)

Abstract. The article considers various approaches to the development of a new-generation educational training and simulation complex (ETSC) at Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center using the latest technical and software tools. The article offers the approaches to decomposition of the ETSC development tasks by several interrelated stages solving certain problems. The article provides a short analysis of historical facts covering several generations of astronaut training complexes including integrating principles implementation. The paper describes the algorithm based on two major approaches to integrating existing tech astronaut training devices into one simulator complex. The authors consider a concept of gateway and modern computing technologies along with virtualization technologies and a set of hardware & software means. The article provides the description of the promising ETSC complex structure; each complex is a separate part that solves a certain number of problems. Special attention is given to the integration of educational and training processes while preparing specialists. Finally, the paper provides the composition of the experimental stand for testing all offered solutions connected to the ETSC development. There are the descriptions of obtained results that reflect absolutely new solutions including the use of host-centric computations of a unified computing system and the use of thin clients at the workplaces. The authors analyze the level of resources loading, data transfer network channels and other critical parameters. It is noted that many IT experts highly evaluated the results of the work for development of experimental stand.

Keywords: educational training and simulation complex, resource virtualization technology, astronaut training devices, autonomous simulators integration, unified software & hardware infrastructure.

References

1. Shukshunov V.E., Yanyushkin V.V. *Uchebno-trenazhernye modeliruyushchie komplekсы novogo pokoleniya dlya podgotovki kosmonavtov* [New Generation Modeling and Simulating Systems for Training Astronauts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2015, 112 p.

2. *Centr podgotovki kosmonavtov imeni Yu.A. Gagarina* [Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center. Official Web-site]. Available at: <http://www.gctc.ru> (accessed August 17, 2015).

3. Shukshunov V.E., Tsiblev V.V., Pototsky S.I. *Trenazhernye komplekсы i trenazhery. Tekhnologii razrabotki i opyt ekspluatatsii* [Training Complexes and Simulators. Design Technique and Field Experience]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005, 384 p.

4. Naumov B.A., Shevchenko L.E. *Kosmicheskie trenazhery. Etapy razvitiya* [Space Simulators. Development Stages]. Star City, 2008, 178 p.

5. Naumov B.A. *Kosmicheskie trenazhery* [Space Simulators]. Star City, 2013, 214 p.

6. *Analiz sovremennykh tekhnologiy virtualizatsii* [Analysis of Modern Virtualization Technologies]. Available at: <http://habrahabr.ru/company/centosadmin/blog/212985/> (accessed August 17, 2015).

7. *Produktsiya* [Production]. Available at: http://www.wiat.ru/products/tonkie_klienty/wyse/ (accessed August 17, 2015).

8. *Citrix i NVIDIA | NVIDIA* [Citrix and NVIDIA]. Available at: <http://www.nvidia.ru/object/citrix-desktop-vdi-case-studies-ru.html> (accessed August 17, 2015).

9. *Citrix i NVIDIA proveli seminar dlya servis-provayderov* [Citrix and NVIDIA Held a Workshop for Service-Providers]. Available at: <http://www.bytemag.ru/press/detail.php?ID=27853> (accessed August 17, 2015).

10. *IT Solutions – Center of Simulator and Training – Case Study – Citrix*. Available at: <http://www.citrix.ru/customers/center-of-simulator-and-training-ru.html> (accessed August 17, 2015).