

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ТРЕНАЖЕРАХ

Э. В. Лапшин

Анализ моделей информационных структур предполагает возможность объединения, разделения и модификации отдельных элементов без их влияния на систему в целом [1–5]. При модульной архитектуре систем модули могут создаваться независимо друг от друга и объединяться в блоки для получения необходимых результатов. Модули пилотажных приборов, силовой установки, подвижности, кабина, вычислитель, пульт инструктора и другое уже используются в современных тренажерах. Так, во многих пилотажных приборах используются аналоговые данные, а в ряде других приборов и вычислителях используются цифровые данные. Налицо обмен в тренажерах большими потоками различной информации. Наибольшие трудности связаны с необходимостью выполнения всех операций в реальном масштабе времени.

Описание и постановка задачи

Анализ показал, что модульный подход, облегчая некоторые трудности, налагает дополнительные ограничения, связанные с приведением данных в совместимую форму, на систему в целом. Однако если указанные проблемы будут решены, то присущая модульному подходу гибкость будет значительно перекрывать указанные ограничения по обработке данных. Вычисления могут распределяться между разными процессорами.

При таком подходе модули и интерфейс могут рассматриваться с функциональной точки зрения (*логический уровень*) или система рассматривается как набор аппаратных и программных модулей (*физический уровень*). Указанное разделение позволяет достичь основной цели – разделить указанные уровни так, чтобы изменения на одном уровне не вызывали изменений на другом. Так, можно модернизировать модули акселерационных эффектов, визуализации, установить другие ЭВМ и т.д. без изменения логической структуры АТ или, наоборот, использовать различные элементы физического уровня для создания конкретных АТ.

Разработка и анализ информационных процессов при взаимодействии модулей являются решением задачи передачи данных от модуля к модулю [6]. Для их связи необходима схема сопряжения (в идеале – универсальная).

Специального рассмотрения при модульном подходе требует вопрос программного обеспечения. Наибольшие усилия затрачены на обеспечение мобильности программного обеспечения. Доля стоимости математического обеспечения в общей стоимости АТ постоянно возрастает. Поэтому повышение эффективности труда программиста становится все более важным.

Во избежание сложности внедрения технических новшеств требования к модулям, интерфейсу и другим не должны быть чрезмерно жесткими и замыкаться на существующих технологиях. Залог успеха – в создании достаточно гибких модулей и системы в целом. Модуль должен определяться функционально. Типы используемых ЭВМ, длина слов, язык программирования и т.п. не должны входить в определение модуля. При определении модулей, интерфейса, утверждении стандартов (для исключения разногласий) головная организация, координируя деятельность подрядчиков, должна исполнять и роль эксперта.

Методы решения задач

Ограничимся рассмотрением модульного построения архитектуры комплексного тренажера на примере тренажера самолета Ту-204. В состав тренажера входят:

- кабина с рабочими местами двух пилотов, бортинженера и инструктора, устанавливаемая на шестистепенном стенде имитатора акселерационных эффектов;
- базовый вычислитель, включающий ЭВМ и устройство комплексирования;
- модуль информационного обмена, состоящий из стоек абонентских терминалов, расположенных вне кабины и в кабине;
- модуль имитатора визуальной обстановки, включающий генератор изображения и модуль отображения визуальной обстановки;
- рабочее место инструктора вне кабины тренажера;
- две стойки с бортовыми цифровыми вычислительными машинами;
- модуль имитатора метеонавигационной радиолокационной станции МНРЛС-85;
- модуль общего электропитания с автономным комплектом первичного электропитания для базового вычислителя тренажера;
- модуль кондиционирования воздуха в кабине тренажера.

На рис. 1 приводится модульная структура комплексного тренажера самолета Ту-204. Возможны два варианта модульного построения АТ. В первом (связи показаны *сплошными линиями*) к каждому ВК через интерфейс типа «Общая шина» подключается контроллер одной стойки абонентских терминалов с модулями СИО и используемым бортовым оборудованием. К каждой стойке абонентских терминалов бортовое оборудование подключается с учетом задач, решаемых вычислительным комплексом. Например, в ВК2 решаются задачи модуля динамики полета, системы дистанционного управления, автоматической системы штурвального управления.

К стойке абонентских терминалов, взаимодействующих с ВК2, подключаются органы управления полетом, бортовое оборудование (систем, связанных с ВСУП, ВСУТ, СПКР, СППЗ) и модуль имитатора акселерационных эффектов. Для уменьшения запаздывания к общей шине ВК 2 подключается модуль имитации визуальной обстановки. Здесь возможно создание тренажера из функционально законченных модулей:

- пилотажного модуля (включает ВК 2, ВК 3, две стойки абонентских терминалов и соответствующее оборудование);
- модуля бортинженера (включает ВК 4, стойку абонентских терминалов, приборы, органы управления, сигнализаторы силовой установки, бортовых систем контроля двигателей, топливной системы, системы регулирования давления, КИСС);
- модуля самолетовождения (включает ВК 5, стойку абонентских терминалов, бортовое оборудование системы самолетовождения и радиотехнических систем; к общей шине ВК 5 подключается имитатор МНРЛС-85);
- модуля инструктора (включает ВК 1, стойку абонентских терминалов, оборудование рабочего места инструктора).

Такое построение позволяет разрабатывать и специализированные тренажеры (естественно, с объемом решаемых задач, меньшим, чем в комплексном АТ). Запаздывание от управляющего воздействия от штурвала до изменения изображения в имитаторе визуальной обстановки определяется запаздыванием собственно имитатора визуальной обстановки и 1–2 циклами решения задач.

Во втором варианте (связи показаны *пунктирными линиями*) контроллеры стоек абонентских терминалов подключаются не к интерфейсу «Общая шина» ВК1 – ВК5, а к магистрали МПД (подключается к одному из входов общего поля памяти ОЗУ). Здесь устройство комплексирования ОЗУ, кроме функций обмена данными между ВК1 – ВК5, выполняет функции приема и передачи данных от оборудования кабины и рабочего места инструктора. Это позволяет создать гибкую структуру вычислительной системы тренажера, обеспечивающую перераспределение потоков информации (позволяет уменьшить количество коммутирующих средств). Эксплуатационная надежность тренажера во многом определяется надежностью устройства комплексирования (отказ устройства приведет к отказу тренажера в целом).

С учетом изложенного выше очевидно целесообразность построения тренажера по первому варианту, что практически и реализовано.

Ограничимся рассмотрением основных модулей.

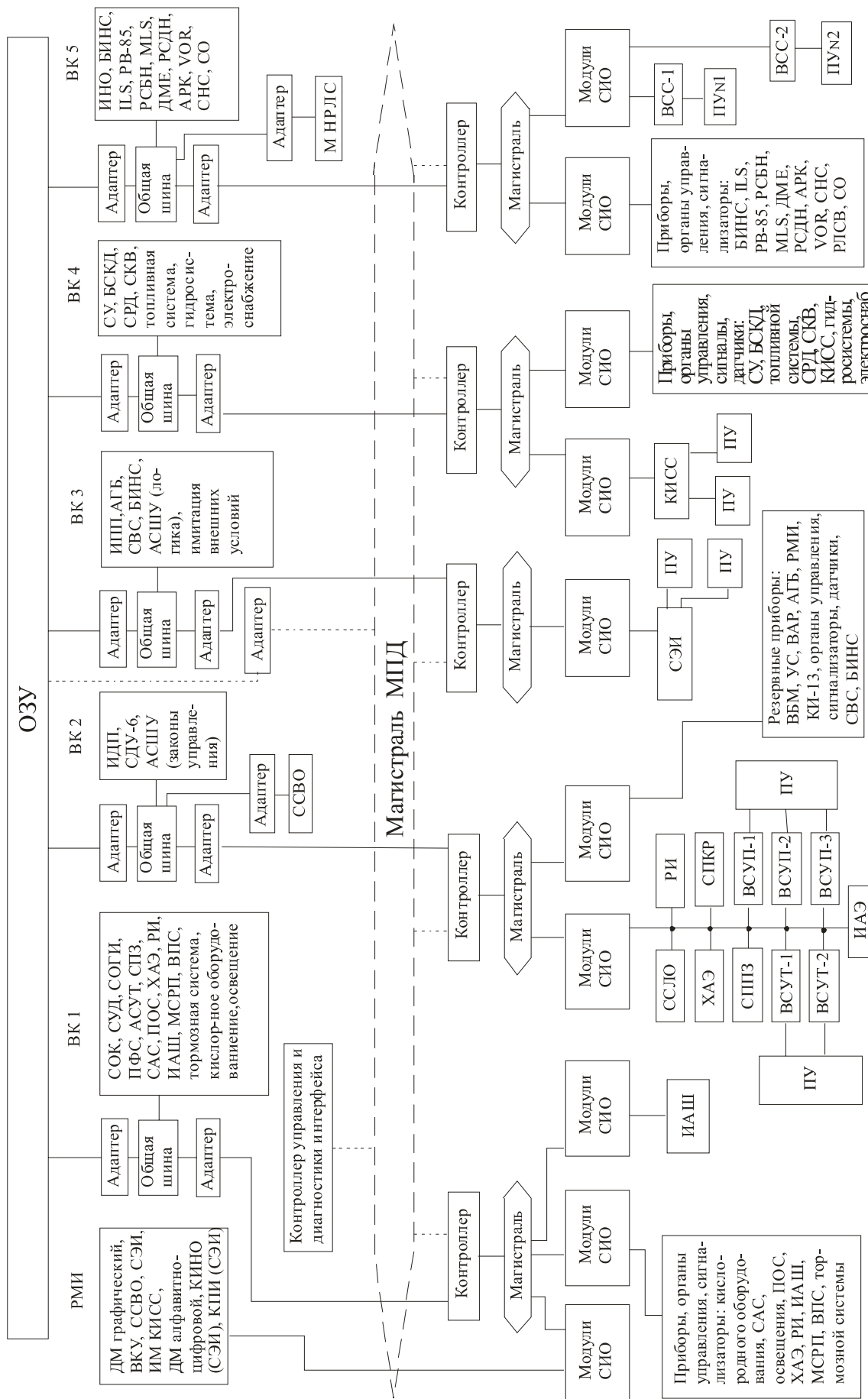


Рис. 1. Структурная схема комплексного тренажера самолета

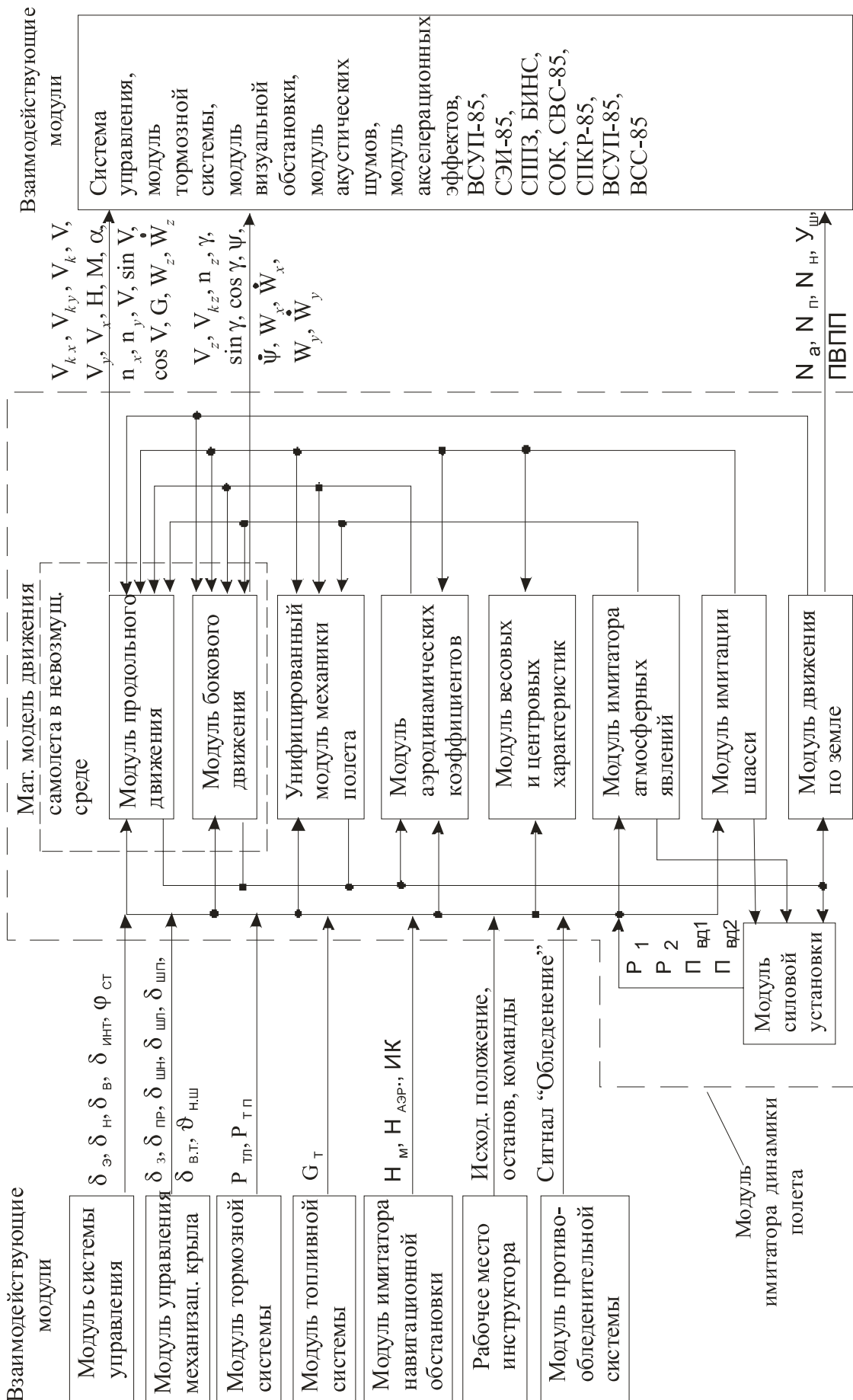


Рис. 2. Структурная схема модуля имитатора динамики полета

Модуль имитатора динамики полета. Структурная схема с указанием взаимосвязей с другими имитаторами приводится на рис. 2.

Воспроизводится движение самолета в пространстве (решение замкнутой системы нелинейных дифференциальных уравнений; входные параметры – управляющие воздействия экипажа, выходные – параметры полета).

Моделируются [6]:

- движение по ВПП и рулежным дорожкам;
- взлет и набор высоты;
- полет по маршруту, снижение и заход на посадку;
- уход на второй круг (с использованием средств комплекса стандартного пилотажно-навигационного оборудования);
- экстренное снижение;
- полет по кругу, заход на посадку и посадка;
- пробег по ВПП с использованием всех средств торможения;
- полет при опасных внешних воздействиях.

Учитываются:

- температура воздуха и атмосферное давление;
- высота (уровень местности) аэродрома;
- горизонтальная составляющая скорости ветра;
- сдвиг и порывы ветра (вертикальный и горизонтальный);
- обледенение (изменение аэродинамических характеристик);
- состояние ВПП;
- сила тяжести и центровка самолета;
- режимы работы силовой установки (включая реверс);
- положение управляющих поверхностей, механизация крыла, шасси (при движении по земле учитываются характеристики устойчивости и управляемости; коэффициенты увода и трения колес с учетом состояния ВПП, торможения колес и работы антиюзного устройства);
- аэроупругость.

Для обеспечения подобия реального и моделируемого полета самолета осуществляется непрерывное вычисление параметров полета в реальном масштабе времени. Экипажу с соответствующих модулей предоставляются визуальная, акустическая, акселерационная информация, показания приборов пилотажно-навигационного комплекса, положения и усилия на органах управления (формируемых в соответствии с параметрами, получаемыми в имитаторе динамики полета (ИДП)).

Производится декомпозиция системы уравнений движения (продольное и боковое движение, движение по земле, модуль аэродинамических коэффициентов).

Шаг интегрирования задается из условий устойчивости и мощности ЭВМ.

Предусматривается возможность программного ввода и вывода значений физических параметров на дисплей.

Метод моделирования позволяет обеспечить воспроизведение динамических характеристик в полном соответствии с «Нормами годности авиационных тренажеров для подготовки авиационного персонала воздушного транспорта».

Модуль имитатора акселерационных эффектов. Предназначается для воспроизведения составляющих акселерационного поля информации, связанных с изменениями линейных перегрузок, угловых ускорений и перемещений, характерных для различных режимов полета, а также воспроизведения эффектов:

- постоянного ненаправленного «фонового» движения в процессе всего полета;
- вибрации от работающих двигателей;
- шумов от выпуска и уборки шасси;
- обжатия стоек шасси при торможении, растормаживании, а также эффектов, вызванных их касанием ВПП, включая раздельное касание носовой, левой и правой стойками;
- тряски при движении по ВПП;
- сваливания.

Позволяет одновременно имитировать пространственное маневрирование и движение, вызванное внешним воздействием.

Разработка динамических стендов (включая системы управления ими) осуществляется на основе компромисса между возможно более точным моделированием (в наземных условиях) акселерационных ощущений летчика и жесткими техническими ограничениями на максимальные линейные (в меньшей степени – на угловые) перемещения кабины стенда (во много раз меньшие реальных перемещений самолета). Точное моделирование акселерационных ощущений летчика во всем диапазоне частот принципиально невозможно – по линейным степеням свободы, а по угловым – затруднительно. Противоречие устраняется с использованием особенностей восприятия перегрузок летчиком. В имитаторе акселерационных эффектов воспроизводятся частоты 0,3–3 Гц. Задаваемые перемещения определяются с учетом их допустимого диапазона (независимо от способа формирования управляющих сигналов).

Для того чтобы при моделировании низких частот в изменении перегрузки кабина тренажера не только не выходила за ограничения по перемещению, но и незаметно для летчика стремилась вернуться в среднее, нейтральное положение, используются фильтры верхних частот. Воспроизведение на стенде длительно действующих линейных, боковых и продольных перегрузок (в диапазоне не более $\pm 0,5g$) обеспечивается возможностью наклона кабины на соответствующий угол. При разработке имитатора используются основы формирования ощущений наклонов у человека по реакциям отолитов, тактильных и кинестетических рецепторов. При разгоне и торможении самолета результирующая массовых сил, действующая на рецепторы, вызывает ощущение наклона по тангажу. Кабина тренажера наклоняется на соответствующий угол тангажа (линия горизонта на экране перед летчиком не изменяет своего положения). Аналогично строится имитатор для боковых перегрузок.

При имитации длительно действующих перегрузок учитывается взаимное расположение отолитового аппарата (в районе головы летчика) и центра вращения самолета (отолиты воспринимают перегрузки от возникающих при вращении центробежных сил). Одновременно с вращением подвижной платформы задаются линейные перемещения. Как в канале крена, так и тангажа используются фильтры (табл. 1).

Таблица 1

Рабочие характеристики динамического стенда

| Параметр движения | Диапазон перемещения | Максимальная скорость | Максимальное Ускорение |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Продольное (X) | $\pm 0,6$ м | $\pm 0,8$ м/с | ± 8 м/с ² |
| Вертикальное (Y) | $\pm 0,5$ м | $+0,7 \div 0,8$ м/с | ± 8 м/с ² |
| Боковое (Z) | $\pm 0,6$ м | $\pm 0,8$ м/с | ± 8 м/с ² |
| Крен (γ) | ± 24 град | ± 20 град/с | ± 100 град/с ² |
| Гангаж (θ) | ± 21 град | ± 20 град/с | ± 100 град/с ² |
| Рыскание (ψ) | ± 23 град | ± 20 град/с | ± 100 град/с ² |

Заключение

1. Предлагается анализ моделей информационных структур создания авиационных тренажеров модульной архитектуры с использованием системного подхода.

2. Приводятся структура, состав, а также указываются взаимосвязи информационно-вычислительных систем тренажеров, предусматривающих распараллеливание вычислительных процессов.

3. Предлагаются варианты модульного построения тренажеров.

4. Результаты исследований использованы при разработке динамических стендов и комплексных тренажеров самолетов, широко используемых для подготовки летного состава в учебно-тренировочных центрах. Приведенные принципы разработки авиационных тренажеров могут использоваться при проектировании и других управляемых в пространстве динамических систем.

Список литературы

1. Анисимов, А. Н. Методологические принципы проектирования сложных управляемых в пространстве динамических систем в приложении к разработке авиационных тренажеров / А. Н. Анисимов, А. М. Данилов, И.А. Гарькина [и др.] // Идентификация систем и задачи управления SICPRO`04 : сб. тр. III Меж-

- дунар. конф. (г. Москва, 28–30 января 2004 г.). – М. : ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, 2004. – С. 279–311.
2. Данилов, А. М. Динамика и управление внеатмосферными астрономическими обсерваториями / А. М. Данилов, Л. З. Дулькин, А. С. Земляков и др. // Труды VI Международного симпозиума ИФАК по управлению в пространстве : в 2 т. – М. : Наука, 1976. – Т. 1. Управление в пространстве. – С. 153–171.
 3. Данилов, А. М. Модульная архитектура пилотажных авиационных тренажеров на базе ПЭВМ / А. М. Данилов, Э. В. Лапшин, В. Н. Шихалеев // Тренажеры и компьютеризация профессиональной подготовки : сб. тр. III Всесоюз. науч.-техн. конф. – Калининград, 1991.
 4. Гарькина, И. А. Системная методология идентификации сложных динамических систем. Аэрокосмические приложения / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, А. П. Прошин // Аэрокосмические приборные технологии : сб. материалов III Междунар. симп. (г. Санкт-Петербург, 2–4 июня 2004 г.). – СПб., 2004.
 5. Данилов, А. М. Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров / А. М. Данилов, Э. В. Лапшин // Приборы и системы управления. – 1989. – № 8.
 6. Лапшин, Э. В. Математическое моделирование динамики полета летательного аппарата : моногр. / Э. В. Лапшин, А. А. Красовский, Н. К. Юрков ; под ред. Э. В. Лапшина. – Пенза : Изд-во Пенз. филиала РГУ ИТП, 2008. – 260 с.

УДК 629.73.08

Лапшин, Э. В.

Исследование информационных процессов, протекающих в тренажерах / Э. В. Лапшин // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 87–93.

Лапшин Эдуард Владимирович

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
(841-2) 56-43-46,
E-mail: kipra@pnzgu.ru

Аннотация. Предлагается анализ моделей информационных структур создания авиационных тренажеров с использованием информационно-вычислительных комплексов с распараллеливанием вычислительных процессов в реальном масштабе времени. Приводится их реализация при разработке тренажера транспортного самолета.

Ключевые слова: исследование информационных структур, авиационные тренажеры, сложные человеко-машинные системы, многопоточная обработка данных, модульная архитектура, многопроцессорные вычислительные комплексы.

E. Lapshin

doctor of technical science, professor,
chair of department construction
and the production of radio equipment
Penza state university
440026, Penza, Red street, 40.
(841-2) 56-43-46
E-mail: kipra@pnzgu.ru

Abstract. Presents an analysis of models of information structures to create simulators, using information and computer systems with parallel computing processes in real time. Their implementation is given in the development of transport aircraft simulator.

Key words: study of information structures, aerotonal simulators, complex human-machine systems, multi-threaded processing, the modular architecture, multi-processor compute-inflammatory complexes.