

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ С РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Э. В. Лапшин, Б. К. Кемалов, Б. Ж. Куатов

Введение

Концепция модульности 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. Многие элементы модульности (модули пилотажных приборов, силовой установки, подвижности; кабина, вычислитель, пульт инструктора и др.) уже используются в современных тренажерах. Однако до последнего времени объединение модулей традиционно требовало больших временных и финансовых затрат (иногда ожидаемая выгода не достигалась или требовались чрезмерные усилия). Так, во многих пилотажных приборах используются аналоговые данные, а в ряде других приборов и вычислителях используются цифровые данные. Налицо обмен в АТ большими потоками различной информации. Наибольшие трудности связаны с необходимостью выполнения всех операций в реальном масштабе времени.

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 различными процессорами.

Существует потенциальная опасность выбора узкоспециализированного подхода с определением некоторой архитектуры ЭВМ и установкой жесткой структуры интерфейса с применением специального языка программирования. Должна существовать возможность создания новых необходимых модулей на основе единого подхода для обеспечения совместимости модулей друг с другом.

Модульность

При модульном 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.

Решение вопроса о взаимодействии модулей на самом деле является решением задачи передачи данных от модуля к модулю. 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 важной проблемой.

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, утверждения стандартов (для исключения разногласий) головная организация, координируя деятельность подрядчиков, должна исполнять и роль эксперта.

Рассмотренный подход использовался при разработке ряда комплексных тренажеров транспортных самолетов, широко используемых для подготовки летного состава в учебно-тренировочных центрах как гражданской, так и военной авиации.

В состав комплексного тренажера входят:

- кабина с рабочими местами двух пилотов, бортинженера и инструктора, устанавливаемая на шестистепенном стенде имитатора акселерационных эффектов;
- базовый вычислитель, включающий пять ЭВМ и устройство комплексирования;
- модуль информационного обмена, состоящий из пяти стоек абонентских терминалов, расположенных вне кабины, и двух стоек – в кабине;
- модуль имитатора визуальной обстановки, включающий генератор изображения и модуль отображения визуальной обстановки;
- рабочее место инструктора вне кабины тренажера;
- две стойки с бортовыми ЦВМ;
- 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.

Приняты следующие обозначения:

- АГБ – авиагоризонт бомбардировщика,
- АРК – автоматический радиокompас,
- АСУТ – автоматическая система управления тягой,
- АСШУ – автоматическая система штурвального управления,
- БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система,
- БСКД – бортовая система контроля двигателей,
- ВКУ ССВО – видеоконтрольное устройство синтезирующей системы визуальной обстановки,
- ВК1(2,3,4,5) – вычислительный комплекс № 1 (№ 2, № 3, № 4, № 5),
- ВОР – радиотехническая система ближней навигации по маякам ВОР,
- ВПС – взлетно-посадочные средства,
- ВСС, ВСУП, ВСУТ – вычислительные системы самолетовождения, управления полетом и тягой соответственно,
- ДМ – дисплейный модуль,
- ДМЕ – радиодальномер,
- ИАШ, ИАЭ ИПП – имитаторы акустических шумов, акселерационных эффектов и пилотажных приборов соответственно,
- ИМ КИСС – индикатор многофункциональный комплексной информационной системы сигнализации,
- КИНО – комплексный индикатор навигационно-тактической обстановки,
- КИСС – комплексная информационная система сигнализации,
- КПИ – комплексный пилотажный индикатор,
- МНРЛС – метеонавигационная радиолокационная станция,
- МПД – модуль передачи данных,
- МСРП – магнитный самописец речи и параметров,
- ПОС – противообледенительная система,
- ПУ – пульт управления,
- РВ-85 – радиовысотомер,
- РИ – речевой информатор,
- ИАШ, ИАЭ ИПП – имитаторы акустических шумов, акселерационных эффектов и пилотажных приборов соответственно,

КИ-13 – магнитный компас,
 МНРЛС – метеонавигационная радиолокационная станция,
 МПД – модуль передачи данных,
 МСРП – магнитный самописец речи и параметров,
 РМИ – рабочее место инструктора,
 РМИ-2Б – радиомагнитный индикатор,
 РСБН, РСДН – радиотехнические системы ближней и дальней навигации соответственно,
 САС, СВС, СДУ-6, СИО, СНС – системы аварийной сигнализации, воздушных сигналов, дистанционного управления, информационного обмена и спутниковая навигационная система соответственно,

СО – самолетный ответчик,
 СОК – система объективного контроля,
 СПКР, СППЗ, СРД, ССЛО – системы предупреждения критических режимов, предупреждения о приближении к земле, регулирования давления, сбора и локализации отказов соответственно,

СУ – силовая установка,
 СУД, СЭИ – системы управления двигателями и электронной индикации соответственно,
 УС – указатель скорости,
 ХАЭ – хронометр авиационный электронный,
 ILS – радиотехническая система посадки по маякам ИЛС/СП,
 MLS – микроволновая система посадки.

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 (до 120 мс) и 1–2 циклами решения задач (при цикле решения 50 мс запаздывание составляет 170–220 мс).

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 комплексирова-

ния 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 очевидна целесообразность построения тренажера по первому варианту, что практически и реализовано.

Модуль имитатора динамики полета

Структурная схема с указанием взаимосвязей с другими имитаторами приводится на рис. 2.

Приняты обозначения:

ВСС-85 – вычислительная система самолетовождения,

ВСУП-85 – вычислительная система управления полетом,

ВСУТ-85 – вычислительная система управления тягой,

СЭИ-85 – система электронной индикации,

ИК – истинный курс,

ПВПП – признак касания ВПП.

Остальные обозначения общепринятые.

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

Моделируются [5–8]:

- 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 антиюзového 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 информации, показания приборов пилотажно-навигационного комплекса, положения и усилия на органах управления (формируемых в соответствии с параметрами, получаемыми в имитаторе динамики полета (ИДП)).

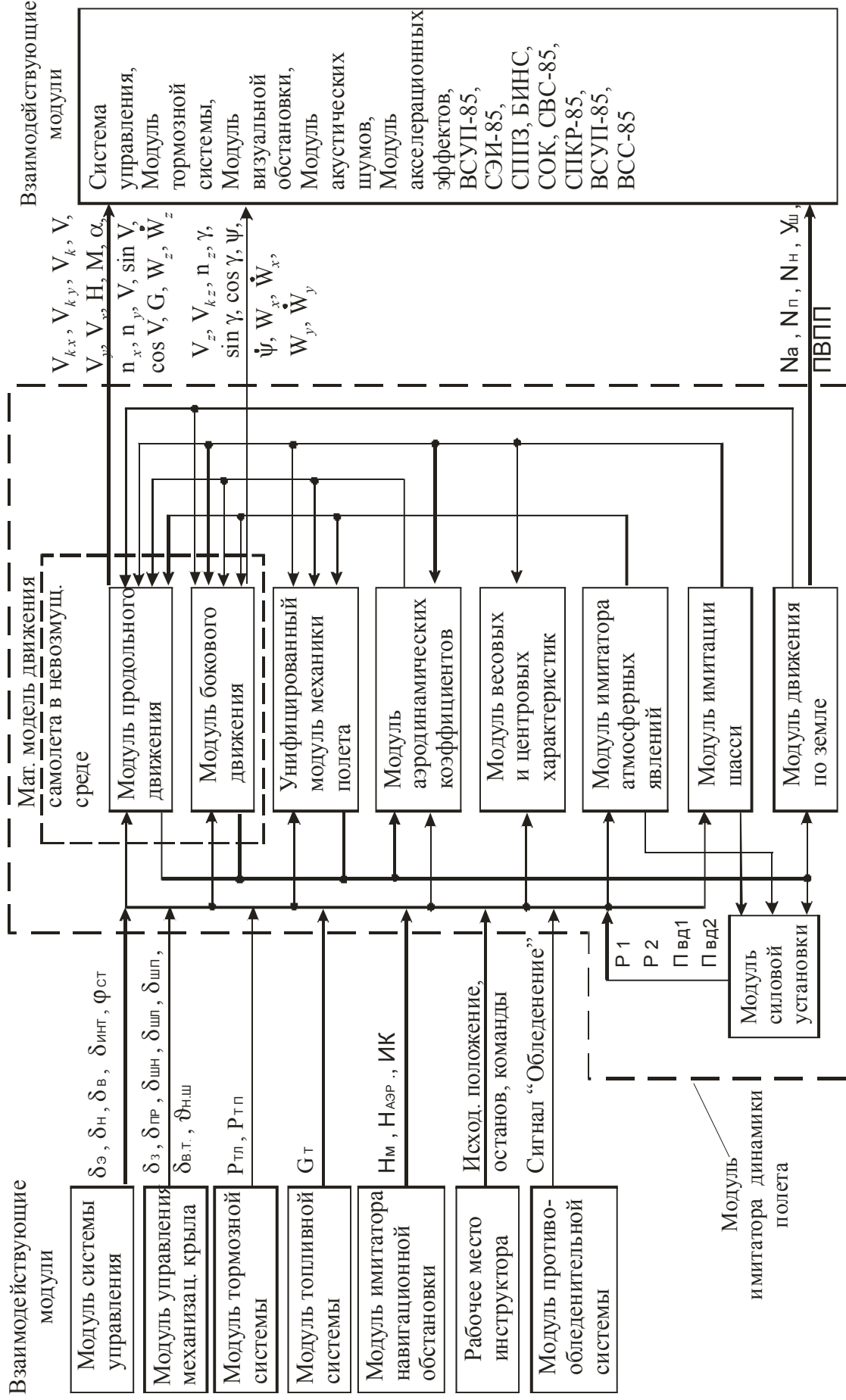


Рис. 2. Структурная схема модуля имитатора динамики полета

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.

Модуль имитатора системы управления

Структурная схема приводится на рис. 3. Приняты обозначения:

АБТ – абонентский терминал,

$I_{АСШУ1}$, $I_{АСШУ2}$, $I_{АСШУ3}$ – индикация исправности каналов АСШУ,

КИСС – комплексная информационная система сигнализации,

РВ, РН, ЭЛ – рули высоты и направления; элерон,

$P_{СУР1}$, $P_{СУР2}$, $P_{СУР3}$, $X_{МРЗ}$ – индикаторы давления в каналах гидросистемы и положения механизма регулирования загрузки.

Используется полунатурное моделирование на базе бортового оборудования. Обеспечивает имитацию работы каналов управления стабилизатором, рулем высоты, элеронами, интерцепторами, воздушными тормозами и рулем направления [9–12].

В модуле имитируются вероятные отказы реальной системы управления самолета:

- электрической системы балансировки канала управления стабилизатором;
- электродистанционной системы регулирования диапазона подключения дополнительной загрузки колонок;

- электродистанционных контуров управления СДУ;

- в системах электро- и гидропитания,

- заклинивание аварийных механических проводок.

В модуле имитатора проявляются отказы, имитируемые в имитаторах АСШУ-204 и ВСУП-85.

Модуль имитатора силовой установки

Структурная схема приводится на рис. 4. Приняты обозначения:

ВСУ – вспомогательная силовая установка,

ПЗ ВСУ, ПНТ, ПНШ, ПОШ, ПП, ПП ВСУ, ППД, ПРАП, ПРГС, ПРЭС, ПСТ, ПУПК, ППОМ,

ПРЕВ – соответственно признаки запуска ВСУ,

- работа вспомогательной силовой установки на земле и в полете в эксплуатационном диапазоне высот и скоростей;

- останов двигателей на земле и в полете;

- запуск двигателей в воздухе (с блокировкой и без нее);

- отбор мощности для режимов загрузки генератора $P_{ген} = 60$ кВА и отбор воздуха $\dot{G}_{в.отб} = 0-2,5$ кг/с;

- имитация неудачного запуска силовой установки в диапазоне высот и скоростей, не оговоренных в «Руководстве по летной эксплуатации» (повышение температуры газа выше 570°C , зависание оборотов двигателей $n_{всу} = (30 \pm 5)\%$, автоматическое прекращение запуска при включенной защите по предельным параметрам).

Обеспечивается воспроизведение следующих режимов работы маршевых двигателей:

- подготовка двигателей к запуску;

- проверка электронной части системы регулирования двигателя (РЭД) с использованием встроенного контроля;

- работа вспомогательной силовой установки на земле и в полете в эксплуатационном диапазоне высот и скоростей;

- останов двигателей на земле и в полете;

- запуск двигателей в воздухе (с блокировкой и без нее);

- отбор мощности для режимов загрузки генератора $P_{ген} = 60$ кВА и отбор воздуха $\dot{G}_{в.отб} = 0-2,5$ кг/с;

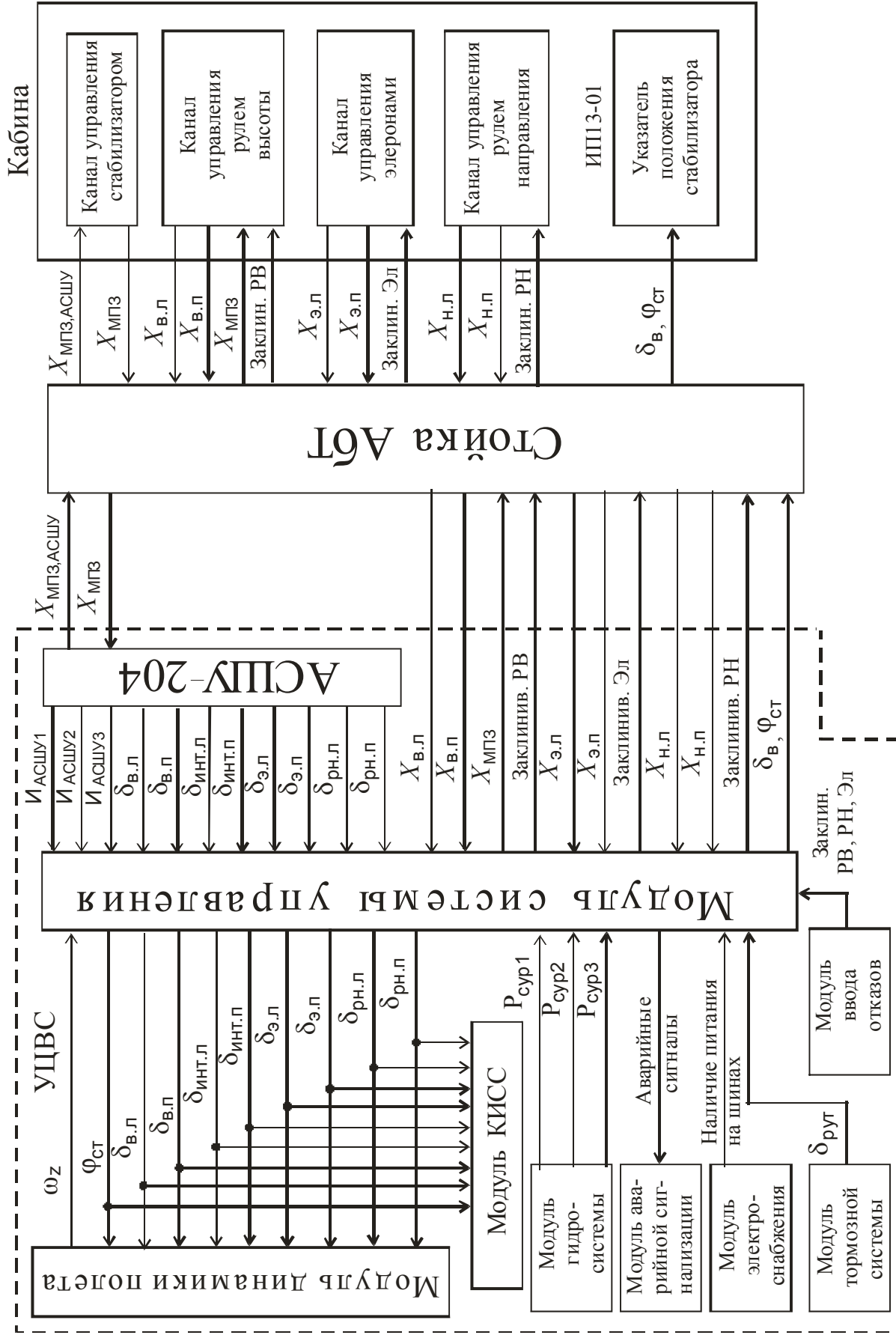


Рис. 3. Структурная схема модуля системы управления

– имитация неудачного запуска силовой установки в диапазоне высот и скоростей, не оговоренных в «Руководстве по летной эксплуатации» (повышение температуры газа выше 570°C , зависание оборотов двигателей $n_{\text{вс}} = (30 \pm 5) \%$;

– автоматическое прекращение запуска при включенной защите по предельным параметрам).

Обеспечивается воспроизведение следующих режимов работы маршевых двигателей:

– подготовка двигателей к запуску;

– проверка электронной части системы регулирования двигателя (РЭД) с использованием встроенного контроля;

– холодная прокрутка двигателей;

– ложный запуск и запуск двигателей на земле (от наземных и бортовых источников питания);

– прогрев и опробование двигателей;

– работа двигателей на установившихся и переходных режимах во всем эксплуатационном диапазоне скоростей (в диапазоне высот 0–13000 м);

– нормальный и экстренный останов двигателей на земле и в полете, а также останов пожарным краном;

– авторотация;

– реверс тяги;

– управление в автоматическом режиме от системы ВСУТ-85;

– имитация неудачного запуска двигателей в диапазоне высот и скоростей, не оговоренных в «Руководстве по летной эксплуатации» (повышение температуры газа выше допустимой, зависание оборотов двигателя, автоматическое прекращение запуска при работоспособной системе регулирования двигателя, ускоренный запуск двигателей по сигналу с рабочего места инструктора).

Имитируются отказы: останов двигателя, помпаж двигателя, повышение температуры газов, отказ системы регулирования двигателя, вибрации двигателя, предельная температура газов вспомогательной силовой установки, разъединение управления двигателями, перегрев опоры, падение давления масла.

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

Структурная схема приводится на рис. 5.

Предназначается для воспроизведения составляющих акселерационного поля [1, 5] 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).

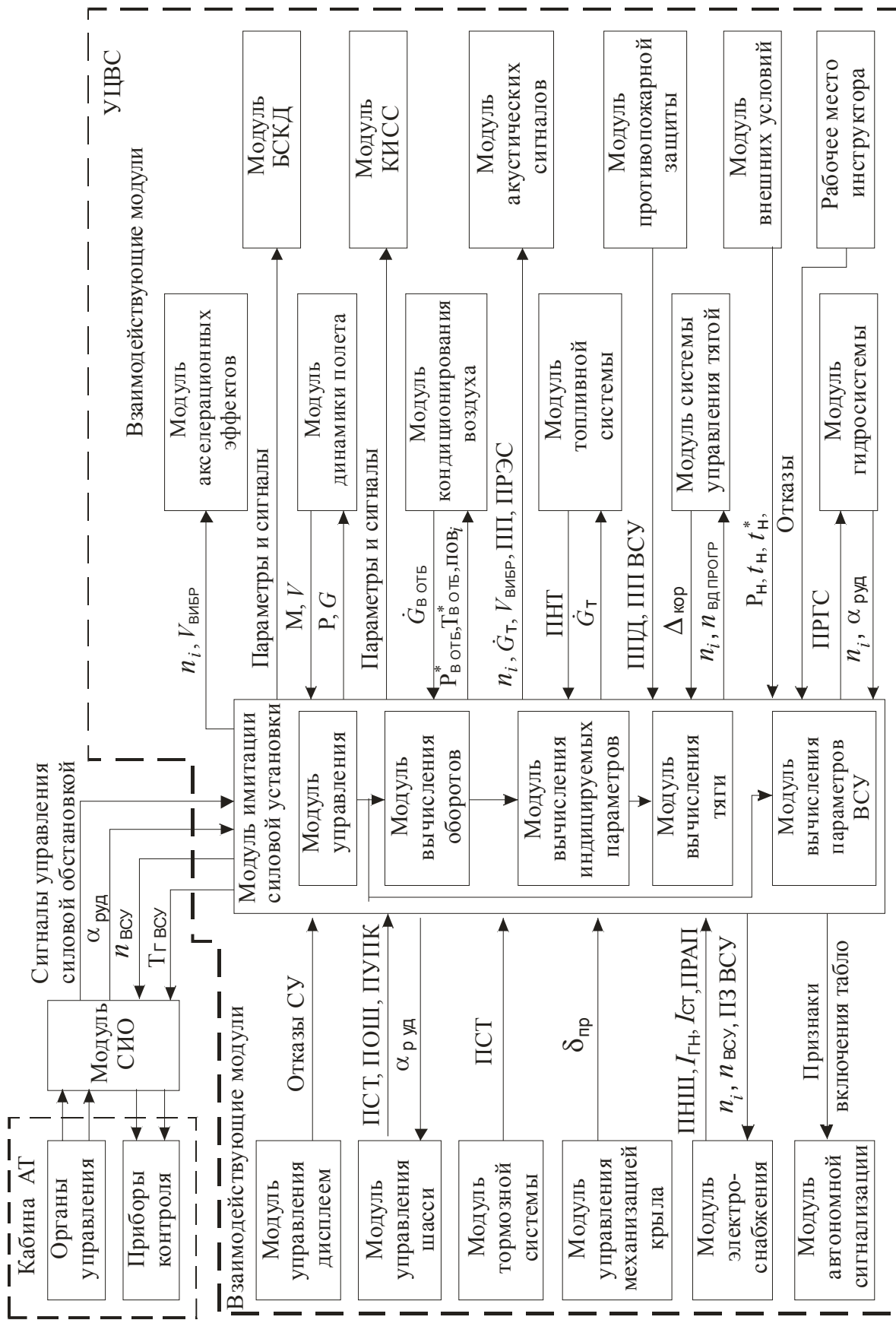


Рис. 4. Структурная схема модуля имитатора силовой установки



Рис. 5. Структурная схема модуля имитатора акселерационных эффектов

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.

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
Тангаж (θ)	± 21 град	± 20 град/с	± 100 град/с ²
Рыскание (ψ)	± 23 град	± 20 град/с	± 100 град/с ²

Как следует из анализа данных табл. 1, получаемые характеристики динамического стенда удовлетворяют по своим параметрам, требующимся для адекватного моделирования авиационной обстановки.

Заклучение

1. Рассматриваются методологические принципы 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 с разработкой основных модулей.

4. Результаты исследований использованы при разработке динамических стендов и комплексных тренажеров самолетов, широко используемых для подготовки летного состава в учебно-тренировочных центрах как гражданской, так и военной авиации.

5. Приведенные принципы разработки авиационных тренажеров могут использоваться при проектировании и других управляемых в пространстве динамических систем.

Список литературы

1. Методологические принципы проектирования сложных управляемых в пространстве динамических систем в приложении к разработке авиационных тренажеров / А. М. Данилов, А. Н. Анисимов, И. А. Гарькина, Б. В. Ключев, Э. В. Лапшин // III Международная конференция «Идентификация систем и задачи управления SICPRO' 04» (Москва, 28–30 января 2004) / ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова. – М., 2004. – С. 279–311.
2. Авиационные тренажеры модульной архитектуры : моногр. / Э. В. Лапшин, А. М. Данилов, И. А. Гарькина, Б. В. Ключев, Н. К. Юрков. – Пенза : Информ.-издат. центр ПГУ, 2005. – 148 с.
3. Динамика и управление внеатмосферными астрономическими обсерваториями / А. М. Данилов, Л. З. Дулькин, А. С. Земляков, В. М. Матросов, В. А. Стрежнев // Труды VI Международного симпозиума ИФАК по управлению в пространстве : в 2 т. Т.1. Управление в пространстве. – М. : Наука, 1976. – С. 153–171.
4. 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 тр. III Всесоюз. Науч.-техн. конф. – Калининград, 1991. – С. 21–22.
5. Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров / А. М. Данилов, Э. В. Лапшин // Приборы и системы управления. – 1989. – № 8. – С. 57–60.
6. Данилов, А. М. Некоторые критерии оценки пилотажных свойств летательных аппаратов / А. М. Данилов, И. А. Гарькина // Авиакосмические технологии АКТ – 2003 : тр. IV Рос. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2003. – Ч. 1. – С. 76–78.
7. Данилов, А. М. Влияние запаздывания в системах имитации физических факторов полета на пилотажные характеристики авиационных тренажеров / А. М. Данилов, И. А. Гарькина // IV Международная научно-техническая конференция «Кибернетика и технологии XXI». – Воронеж, 2004. – С. 43–45.
8. Безбогов, А. А. Современные авиационные тренажеры. Ч. 3. Моделирование акселерационной обстановки / А. А. Безбогов, Л. М. Дубовый, П. П. Зобков / Рижское высшее военное авиационное инженерное училище имени Якова Алксниса. – Рига, 1988. – С. 65–76.

9. Годунов, А. И. Синтез автоматизированной системы оценивания качества пилотирования на авиационном тренажере / А. И. Годунов, Ю. Г. Квятковский, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 1 (21). – С. 58–64.
10. Кемалов, Б. К. К проблеме структурного синтеза моделирующей среды авиационного тренажера / Б. К. Кемалов, Б.Ж. Куатов, Н.К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 103–106.
11. Сухова, Ю. С. Особенности организации коммуникативного процесса обучаемого и интеллектуальной компьютерной обучающей системы / Ю. С. Сухова, С. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т.1. – С. 287–288.
12. Кемалов, Б. К. Формирование моделирующей среды авиационного тренажера / Б. К. Кемалов, Б. Ж. Куатов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 1 (9). – С. 9–16.

Лапшин Эдуард Владимирович

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

Кемалов Берик Каирович

кандидат технических наук,
заместитель начальника департамента образования
и науки министерства обороны Республики Казахстан,
(010000, Казахстан, г. Астана, пр. Достык, 14)
E-mail: kemalov.bk@gmail.com

Куатов Бауржан Жолдыбаевич

заместитель начальника по учебной
и научной работам,
Военный институт Сил воздушной обороны
Республики Казахстан им. Т. Я. Бегельдинова
(463024, Казахстан, г. Актобе, пр. А. Молдагуловой, 16)
E-mail: kuatov.baurjan@mail.ru

Lapshin Eduard Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kemalov Berik Kairovich

candidate of technical sciences,
deputy head of the department of education
and science of the Ministry of defence
of the Republic of Kazakhstan,
(010000, 14, Dostyk ave., Astana, Kazakhstan)

Kuatov Baurzhan Zholdybaevich

deputy chief of academic and scientific works,
Military Institute of Air Defense Forces
of the Republic of Kazakhstan
named after T. Ya. Begel'dinov
(463024, 16 A. Moldagulova avenue,
Aktobe, Kazakhstan)

Аннотация. Предлагаются методологические принципы создания авиационных тренажеров с использованием многопроцессорных информационно-вычислительных комплексов с распараллеливанием вычислительных процессов в реальном масштабе времени. Концепция модульности предполагает возможность объединения отдельных элементов без их влияния на систему в целом. При модульной архитектуре систем модули могут создаваться независимо друг от друга и объединяться в блоки для получения необходимых результатов. Многие элементы модульности используются в современных тренажерах. Объединение модулей традиционно требовало больших временных и финансовых затрат (иногда ожидаемая выгода не достигалась или требовались чрезмерные усилия). Так, во многих пилотажных приборах используются аналоговые данные, а в ряде других приборов и вычислителей используются цифровые данные. Налицо обмен в АТ большими потоками различной информации. Наибольшие трудности связаны с необходимостью выполнения всех операций в реальном масштабе времени. При модульном подходе модули и интерфейсы могут рассматриваться с функциональной точ-

Abstract. Methodological principles are proposed the establishment of flight simulators using multiprocessor computer complexes with parallelization of computing processes in real time. The concept of modularity involves the possibility of combining individual elements without their impact on the system as a whole. With the modular architecture of the systems modules can be created independently of each other and unite blocs to obtain the necessary results. Many of the elements used in modern modularity. Group modules have traditionally required a large amount of time and financial expenses (sometimes the expected benefit is not achieved or required excessive force). So many aerobatic devices use analog data, and in a number of other devices and calculators which use digital data. There was an Exchange in AT large variety of information flows. Most difficulties relate to all operations in real time. When the interface modules and modular approach can be seen from the functional point of view, or system is seen as a collection of hardware and software modules. Specified Division allows you to reach the main goal is to divide these levels so that changes on one level do not cause changes on the other. So, you can upgrade modules acceleration effects, visualizations, install other COMPUTERS, etc.

ки зрения или система рассматривается как набор аппаратных и программных модулей. 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. Решение вопроса о взаимодействии модулей на самом деле является решением задачи передачи данных от модуля к модулю. 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 вопросом. 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 роль эксперта. Рассмотренный подход использовался при разработке ряда комплексных тренажеров самолетов, широко используемых для подготовки летного состава в учебно-тренировочных центрах как гражданской, так и военной авиации.

Ключевые слова: авиационные тренажеры, модульность, программное обеспечение, имитаторы, технические средства обучения.

without changing the logical structure of AT or vice versa, use different elements of the physical layer to create a concrete AT. Solution to the issue of the interaction of modules is actually a solution for data transfer from module to module. Connect pairing scheme is needed (ideally-universal). Special consideration in the modular approach requires a software issue. The greatest efforts spent on mobility software. The proportion of the cost of the software in the total value of AB is constantly increasing. Therefore, improving programmer productivity is becoming increasingly important. To avoid the complexity of technological innovation requirements to modules, interface, etc. should not be excessively rigid and focus narrowly on existing technologies. The key to success is to create flexible modules and the system as a whole. The module should be defined functionally. Types of used computers, length of words, language and the like should not be included in the definition of the module. When defining the interface modules, approval standards (to exclude differences), the umbrella organization coordinating contractors must perform and the role of the expert. Considered approach was used to develop a number of aircraft simulators, widely used for training flight crews in training centers for both civil and military aviation.

Key words: aviation simulators, modularity, software, simulators, training means.

УДК 629.73.08

Лапшин, Э. В.

Проектирование авиационных тренажеров с распараллеливанием вычислительных процессов / Э. В. Лапшин, Б. К. Кемалов, Б. Ж. Куатов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4 (16). – С. 128–141. DOI 10.21685/2307-4205-2016-4-18.