

УДК 629.7.072 8:681.3

В.Н. Азарсков

ПУТИ И МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ СРЕДСТВ ИМИТАЦИИ ДВИЖЕНИЯ И АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В УКРАИНЕ

Сформулирована комплексная и ряд частных научно-технических проблем создания (модернизации) комплексов имитации полетов и тренажеров в Украине. Обсуждаются пути и этапы успешного решения указанных проблем, основанные на использовании нетрадиционных подходов и апробированных на сложных образцах авиационной и космической техники.

Одним из наиболее эффективных средств формирования и развития знаний и профессиональных навыков операторов по управлению сложными динамическими объектами в авиации, космонавтике, на морском и автомобильном транспорте, в атомной энергетике, ракетной технике и других отраслях являются комплексы имитации и тренажеры, которые позволяют не только оценивать уровень функциональных и психофизических свойств операторов, производить их отбор. По материалам исследований [1] ошибки операторов, приводящие к авариям в ракетной технике, составляют 40 %, в ВВС до 70 %, в морском флоте до 80 %.

Наибольшее распространение комплексы имитации и тренажеры получили в авиации и космонавтике, где ошибки при управлении объектом напрямую связаны с выполнением задания на полет, безопасностью жизнедеятельности и сохранностью дорогостоящей техники. Многолетний опыт использования авиационных тренажеров показал возможность сокращения времени учебно-тренировочных полетов в три-четыре раза, а в некоторых случаях, например, при переподготовке опытных пилотов, даже его исключения. Затраты на подготовку операторов с применением тренажеров сокращаются от 4 до 12 раз по сравнению с традиционными методами. Современные динамические комплексы имитации авиационного и аэрокосмического полетов представляют собой сложные многомерные кибернетические системы, предназначенные для моделирования (имитации), воспроизведения сложных условий полета. Главной стороной качества (точности) таких комплексов является точность (близость) имитирующих и имитируемых условий полета (эксплуатации).

В последние годы резко повысились требования к точности имитации интегральных характеристик полета. Так, по требованиям нормативных документов ICAO 1995 года [2], например, запаздывание в системах подвижности и имитации визуальной обстановки авиационных имитаторов полета и тренажеров не должно превышать 0,1–0,15, в то время как в существующих отечественных тренажерах оно составляет – единицы секунд и более. Результат традиционного подхода к созданию динамических комплексов имитации полета и тренажеров – достаточно сложные конструкции, хотя принципиально и отвечающие своему назначению, но уже не отвечающие современным точностным требованиям. Такие комплексы не конкурентоспособны.

Существующие в настоящее время в Украине комплексы имитации движения и тренажеры, с позиций управления процессами имитации и аттестации качества подготовки экипажей, имеют, на наш взгляд, следующие недостатки конструкции и организации деятельности:

– системы управления режимами работы комплексов имитации и тренажеров, а также системы обработки необходимой при этом информации не оптимальны по точностным критериям, следовательно не конкурентоспособны по основному критерию – качеству процессов имитации;

– фактически находящиеся в эксплуатации комплексы не рассчитаны на имитацию стохастически возмущенных режимов полета;

- модели динамики и имитируемого объекта движения не определены экспериментально, т.е. они достаточно грубы;
- традиционная структура построения отечественных комплексов имитации полета, включающая систему подвижности, по своим характеристикам динамики, как правило, не является аналогом имитируемого контура управления полетом реального летательного аппарата (ЛТА);
- навыки, которые могут получить экипажи в процессе тренировки на существующих комплексах имитации и тренажерах, как правило, значительно отличаются от необходимых на современных уровнях развития авиационной техники;
- в силу существенных недостатков построения систем управления существующих комплексов имитации и тренажеров частотные полосы пропускания каналов на порядок ниже, чем у их аналогичных зарубежных образцов.

В связи с этим, на основании проведенных исследований [3], на повестку дня поставлена комплексная научно-техническая проблема по модернизации существующего парка авиационных имитаторов полета и тренажеров, для решения которой необходимо:

- поставить и сформулировать комплексную научно-техническую проблему модернизации имитирующей авиационной техники, основные составляющие ее подпроблемы, определяющие необходимость оптимальной модернизации управления авиационными комплексами имитации и тренажерами (при этом предполагается определять содержание, механизмы выполнения и последовательность этапов работ, обеспечивающих конкурентоспособность модернизируемых изделий);
- разработать концепцию и методологию, включающую необходимые наукоемкие технологии, определяющие эффективные пути создания управления новыми и модернизации управления существующими оптимальными комплексами имитации полета и тренажеров, обладающими наивысшим достижимым качеством имитации;
- провести модернизацию систем тренажера и оценить эффективность предложенного подхода на тренажерах самолетов типа Ту-154 или Ту-22М.

Комплексная научно-техническая проблема [3], базирующаяся на наукоемких технологиях оригинальной научной школы и подлежащая решению, формулируется так: **на базе известных и постоянно совершенствуемых технологий разработать концепцию и методологию создания новых оптимальных и модернизации существующих комплексов имитации стохастически возмущаемого полета и тренажеров с целью достижения наивысших рубежей качества имитации.**

Сформулированная комплексная проблема является важной составной частью известной [4] общей научной проблемы максимизации точности (качества) измерительных и управляющих комплексов подвижных объектов при стохастических эксплуатационных возмущениях. В свою очередь сформулированную комплексную проблему целесообразно разделить на ряд составляющих ее научно-технических проблем, а именно:

- разработка концепции и методологии оптимальной модернизации вычислительных систем существующих авиационных имитаторов полета и тренажеров с целью максимизации качества имитации;
- разработка концепции и методологии оптимальной модернизации управления подвижностью в комплексах имитации стохастически возмущаемого полета;
- разработка концепции и методологии модернизации систем визуализации существующих комплексов имитации полета и тренажеров;
- проблемные вопросы разработки методологических основ и новых наукоемких технологий, необходимых в практике создания оптимальных комплексов имитации стохастически возмущаемого полета и тренажеров.

Известно [5], что достигать и оценивать максимальные уровни качества создаваемых оптимальных систем возможно на этапах так называемого динамического их проектирова-

вия на основе научно обоснованных и удобных для практики алгоритмов синтеза. При этом учитываются динамические характеристики объекта управления, других заданных звеньев систем управления (СУ), результаты динамической аттестации штатных систем измерения (СИ), характеристики программных движений и предполагаемых эксплуатационных воздействий, а также цели, задачи и содержание качества разрабатываемой системы. По результатам сравнения показателей качества разрабатываемой оптимальной системы с требуемыми делается заключение о целесообразности полного цикла проектирования и изготовления сложной системы. Все это осуществляется еще до основных этапов ее проектирования, т.е. до производства затрат на ее проектирование, изготовление, сборку, доводку и испытания. При положительном заключении о целесообразности создания системы в исследуемом варианте (качество оптимальной системы должно быть не ниже требуемого) основные этапы работ динамического проектирования полагаются оконченными. При положительных результатах динамического проектирования разработчикам передаются оптимальные структуры и параметры СУ. Конструктор, не меняя данные структуры и параметры, должен реализовать их на прогрессивной элементной базе с учетом достижимого уровня технологических решений. Таким образом реализуется системный подход к проектированию сложных динамических систем.

Большая эффективность динамического проектирования сложных управляемых систем очевидна и ее целесообразность не должна вызывать сомнений. Главные сложности на этом пути связаны с необходимостью существенного изменения традиционного отечественного подхода к проектированию подобных сложных систем, наличием и освоением новых наукоемких технологий, обеспечивающих теоретическую базу динамического проектирования, с правильными постановками намеченных к реализации сложных задач.

Исследуемая в дальнейшем проблема оптимальной модернизации управления существующими комплексами имитации полета от подобных проблем создания оптимальных СУ другими подвижными объектами отличается в первую очередь существенными различиями в постановках и рядом моментов методологического обеспечения успешного решения этой проблемы.

В автоматических комплексах полунатурного моделирования, а также подвижных авиационных тренажерах основной целью коррекции динамики имитатора является по возможности наиболее полное устранение влияния динамики стенда, воспроизводящего движение, как звена, которого не существует в натуральных комплексах управления полетом.

Кратко охарактеризуем распространенные варианты построения таких комплексов и тренажеров.

Основной задачей моделирующего комплекса (тренажера) в первом "разомкнутом" варианте построения (рис. 1) являются как тренировка операторов, так и оценка точности бортовых измерителей ЛА в условиях, близких к полетным.

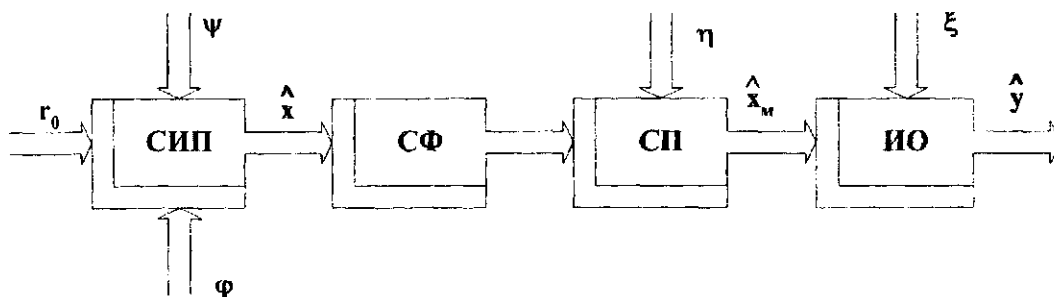


Рис. 1. Структурная схема автоматического комплекса полунатурного моделирования полета (разомкнутый вариант)

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

СИП – замкнутый статический имитатор полета, на который воздействуют сигналы программного движения r , модели возмущений ψ и помех φ и который выдает оценку \hat{x} со-

стояния имитируемого ЛА в конкретном полете (имитатор собран на базе ЭВМ); СФ – система фильтров, предназначенная улучшать динамику моделирующего тракта и сглаживать различия в акселерационных ощущениях пилота в восприятии наземных и полетных движений; СП – замкнутая система подвижности, имеющая собственные возмущения η и предназначенная для преобразования сигналов \hat{x} в динамические сигналы \hat{x}_m , наиболее близкие к сигналам \hat{x} по динамике; ИО – исследуемый объект, подверженный действию возмущений ξ , оценка состояния \hat{y} и точность функционирования которого являются целями проводимых экспериментальных исследований. Преимуществом такого построения комплекса является сравнительная простота конструкции и настроек, существенным недостатком – невозможность воспроизведения сигналов \hat{x}_m близким к сигналам \hat{x} в силу инерционности и весьма ограниченной полосы пропускания частот задающих воздействий в СП, некорректируемость состояния \hat{x}_m , и как следствие, недостаточное соответствие достигаемого состояния \hat{y} ИО конкретным условиям полета. В результате – грубость в имитации полета и невозможность решения точности задачи оценивания качества исследуемого объекта или привитие операторам неправильных профессиональных навыков по управлению объектом.

Вариант моделирующего комплекса тренажера, структура которого показана на рис.2, может быть использован для оценок качества ИО.

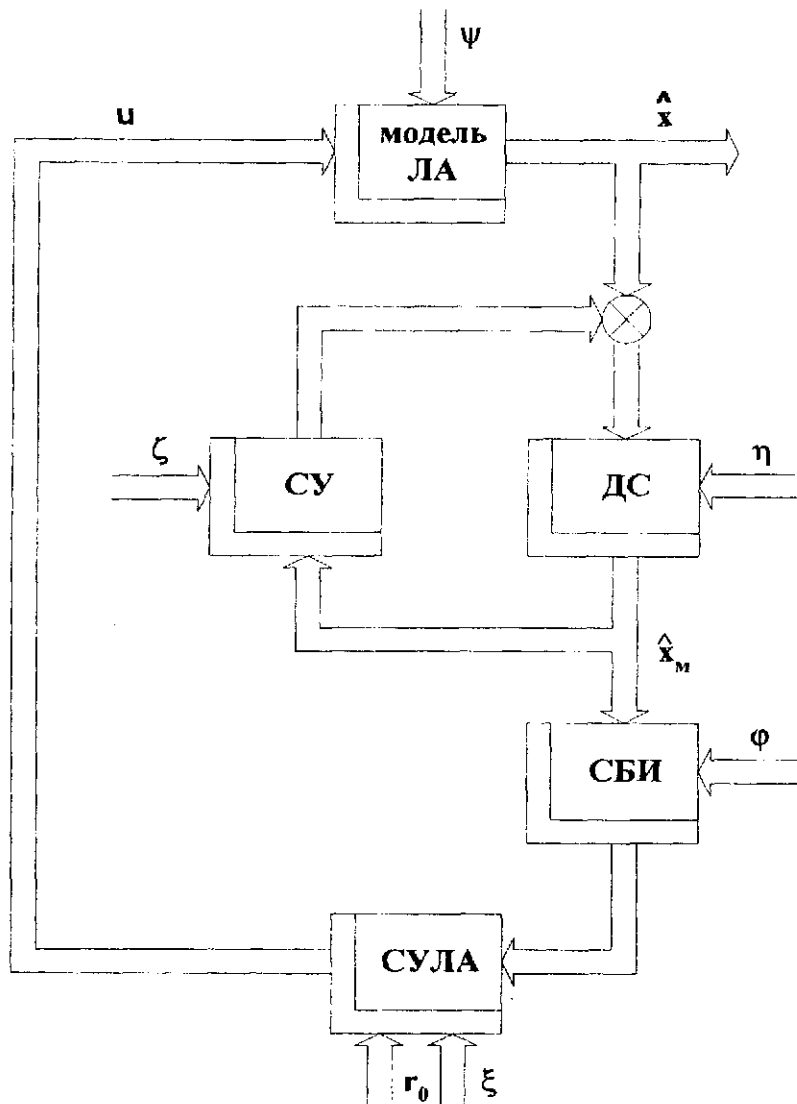


Рис. 2. Структурная схема автоматического комплекса моделирования полета (замкнутый вариант)

Здесь в обратной связи к объекту ("электронной" модели ЛА), подверженному действию внешних возмущений ψ и имеющему состояние \hat{x} , расположены замкнутая СП (генератор пространственных движений), на которой размещена реальная система бортовых измерителей и которая создает полезные сигналы u для СУ моделями ЛА, многоэтапного динамического стенда ДС, подверженного действию внутренних возмущений η и охваченного СУ (система управления движением стенда СУ, имеющая помехи ξ). Вектор состояния \hat{x}_m СП должен быть как можно ближе к состоянию модели \hat{x} . Главный недостаток такого построения комплекса связан с наличием СП в моделирующем комплексе, в то время как реальная СУ полетом такое звено не включает. Главное достоинство – возможность значительно ослабить вредное влияние динамики стенда и в каждый момент времени управлять состоянием имитатора. Борьбу с вредным влиянием динамики стенда обычно ведут путем всемерного расширения полосы пропускания частот СП. Урон качеству моделирования наносит и недостаточное знание реальной динамики многостепенных стендов в комплексах, а также отсутствие удобных и строгих научно обоснованных технологий совершенствования комплексов.

Таким образом, технологии выбора и обоснования наилучшей компоновки комплекса, а также используемые при модернизации наукоемкие технологии, включающие и постановки конкретных задач модернизации, подлежат постоянному совершенствованию. Различные аспекты организации и реализации процессов такого совершенствования составляют основу обсуждаемой научно-технической проблемы, которая выступает как обязательная часть обсужденной выше – комплексной.

Динамическое проектирование [5] выполняется как результат предлагаемой последовательности работ:

- на физическом уровне формулируется задача;
- составляется структурная схема проектируемой системы, выделяется заданная часть системы;
- проводится этап структурной идентификации моделей динамики заданной части системы и действующих на нее возмущений в ряде интересующих режимов функционирования (этап идентификации разбивается в свою очередь на ряд основных подэтапов);
- математически строго ставится задача синтеза и анализа;
- по результатам этапов идентификации динамики объекта управления, возмущения и динамической аттестации измерителей, используемых в системе, составляются модели динамических характеристик элементов заданной части системы (при отсутствии экспериментальных данных модели составляются по литературным источникам или по физическим представлениям);
- разрабатываются (выбираются из известных) алгоритмы синтеза и анализа системы, разрабатывается (используется готовое) программное обеспечение решение задачи на ЭВМ;
- на основе принятых алгоритмов синтеза и анализа и имеющихся в наличии пакетов прикладных программ выполняется синтез оптимальной структуры регулятора в системе;

– производится анализ качества оптимальной системы и исследуется его изменение и изменчивость параметров регулятора и системы в различных эксплуатационных ситуациях;

– анализируются поверхности наилучшего качества системы и оптимальных параметров регулятора, построенных как функции варьируемых параметров, и устанавливается базовый вариант оптимальных регулятора и системы (при необходимости разрабатывают алгоритмы и структуру системы, вводят контуры перестройки оптимальных параметров в зависимости от изменяемых эксплуатационных факторов);

– путем сравнения значений показателей качества проектируемой системы с требуемыми делается заключение о целесообразности проведения этапов основного проектирования и изготовления системы;

– при положительном заключении о такой целесообразности производят разработку принципиальных электрических схем и их реализацию.

Итак, под динамическим проектированием будем понимать разработку технических предложений по созданию оптимальных систем, включающих постановку задачи синтеза конкретной системы, сбор и первичную обработку необходимой исходной информации для задачи, разработку или выбор подходящих научно обоснованных алгоритмов синтеза и программного обеспечения задачи, проведение синтеза оптимальной системы, анализ ее качества и эффективности в различных эксплуатационных ситуациях, составление заключения о целесообразности создания проектируемой системы, разработку и реализацию структуры оптимальной системы. Перечисленные виды работ и определяют требуемые этапы проведения динамического проектирования.

Этап постановки задачи предполагает вначале физическую формулировку задачи, затем сведение ее к некоторым канонам, при создании которых возможно строгое количественное решение задачи. В рассматриваемом классе задач, как правило, полагается, что заданная часть системы (динамические характеристики объекта управления, воздействий и помех) известна перед началом этапа синтеза, известно также желаемое преобразование входной информации системой, функционал ее качества. Требуется выбрать структуру регулятора движений в системе такой, которая гарантирует устойчивость замкнутой системы и доставляет минимум ее функционалу.

Результаты сбора и первичной обработки априорной исходной информации предполагают составление моделей динамики всех элементов заданной части системы. Требуемая исходная информация может быть получена в процессах исследований прототипов системы, при проведении этапов идентификации, динамической аттестации и т.п.

При наличии разработанных удобных в практике алгоритмов оптимального синтеза этап выбора алгоритмов синтеза не вызывает затруднений. Разработка или выбор программного обеспечения решаемых задач всегда трудоемкое и ответственное дело. Как правило, результаты синтеза представляются в достаточно наглядном виде. Этап анализа качества синтезированной системы требует также наличия соответствующих алгоритмов анализа и программного обеспечения этой части.

В качестве переменных параметров, характеризующих изменчивость эксплуатационных ситуаций при исследовании поведения проектируемой системы, могут выступать отношения среднеквадратических значений сигнала помех и программных сигналов, возмущения и программы и т.п.

Основой для принятия решения о целесообразности основных этапов проектирования системы служит сравнение вычисленных значений показателя качества проектируемой системы с требуемыми для успешного применения проектируемой системы по назначению.

По определяемой в результате синтеза оптимальной структуре регулятора известными способами можно составить структурную схему регулятора, а затем реализовать ее средствами цифровой или современной аналоговой вычислительной техники.

Динамическое проектирование каналов управления движениями стенда производится по алгоритмам синтеза, как правило, составленным в варианте, когда воздействия и помехи в системе случайны. Синтезированная система в этом случае оказывается минимальной и для варианта детерминированных воздействий и помех. Если качество управления в обсуждаемых вариантах будет удовлетворять требованиям мировых стандартов, то при реализации основных результатов этапа динамического проектирования модернизируемый комплекс имитации (тренажер) окажется конкурентоспособным. Таким образом, применяется новый нетрадиционный подход к созданию (модернизации) конкурентоспособных имитаторов полета и тренажеров.

Список литературы

1. *Техническая информация*, ЦАГИ, №0668, 1986.–107 с.
2. *Руководство по критериям квалификационной оценки пилотажных тренажеров*. – Монреаль, Канада, 1995.– 66 с.
3. *Азарсков В.Н.* Методология оптимальной модификации управления аэрокосмическими имитаторами полета и тренажерами. – К.: КМУГА, 1996. – 229 с.
4. *Блохин Л.Н.* Оптимальные системы стабилизации.– К.: Техніка, 1982.–144 с.
5. *Блохин Л.Н.* Динамическое проектирование оптимальных произвольных структур комплексов стабилизации движения при стохастических эксплуатационных воздействиях (на примере авиационной техники): Автореф. дис... д-ра техн.наук.– К.: 1985. – 32 с.

Стаття надійшла до редакції 27 вересня 1999 року.