

УДК 681.32

О.Е. ФЕДОРОВИЧ, А.В. СМОЛЯКОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

СИСТЕМНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Предложен метод моделирования технических требований и характеристик беспилотных авиационных комплексов (БАК), основанный на имитации выполнения основных функциональных задач комплекса. Метод позволяет достаточно подробно, в соответствии с рассматриваемой стадией создания БАК, прогнозировать и рассчитывать основные характеристики комплекса.

имитационное моделирование технических характеристик, фреймовая имитационная модель, системное моделирование беспилотного авиационного комплекса

Введение

Современная тенденция развития беспилотных авиационных комплексов (БАК) связана со значительным расширением областей их использования, как гражданских, так и военных. Но это приводит к проблеме обеспечения безопасности их применения, что связано с формированием требований по безопасности полетов в контролируемом воздушном пространстве [1].

Требования безопасности изменяют состав и значения характеристик БАК, что должно учитываться как на ранних стадиях формирования проектов создания БАК, так и на всех стадиях жизненного цикла. Поэтому возникает актуальная проблема моделирования и расчета основных характеристик БАК исходя из состава функциональных задач и требований безопасности полетов в контролируемом воздушном пространстве. Существующие методы расчета характеристик основаны, в основном, на статистическом представлении состава и структуры проектируемого БАК и не учитывают динамические процессы, связанные с выполнением основных функциональных задач [2]. Поэтому в данной работе ставится задача формирования системной имитационной модели, которая позволит достаточно универсально и подробно рассчитывать основные характеристики БАК с учетом требований безопас-

ности в контролируемом воздушном пространстве.

Постановка задачи. Процесс выполнения проекта по созданию БАК представляет собой многоуровневую, многоэтапную последовательность работ, в которой задействована кооперация предприятий-исполнителей с большими коллективом разработчиков. Поэтому актуальна задача управления ходом разработки исходя из контроля выполнения требований и основных характеристик БАК на всех этапах жизненного цикла.

В предлагаемой работе предлагается метод моделирования основных характеристик БАК, учитывающий динамику функционирования будущего комплекса. При этом комплексно увязывается архитектура (структура), задачи функционирования и динамика поведения БАК. Для решения поставленной задачи использован метод имитационного моделирования, на базе которого создана методика расчета основных характеристик БАК, основанная на трансформировании и накоплении значений исследуемой характеристики в ходе имитации выполнения отдельных функциональных задач комплексом.

Данный подход имеет целый ряд преимуществ по сравнению с аналитическими методами:

- использование аналитических методов ограничено ранними этапами проектирования с приближительными, оценочными значениями характе-

ристик беспилотных авиационных комплексов;

- попытки использовать аналитические методы на последующих этапах проектирования БАК приводят к громоздким математическим моделям, которые должны создаваться высококвалифицированными специалистами-аналитиками, и которые трудно разрешимы;

- методы имитационного моделирования более универсальны и не имеют ограничений по уровню детализации БАК, могут формировать модели в терминах требований технического задания (ТЗ);

- возможности аналитического моделирования ограничены анализом устанавливаемых режимов, что не соответствует реальному динамическому поведению БАК.

В предлагаемом методе, в отличие от существующих, используется механизм имитационного моделирования, который основан на знаниеориентированных структурах в виде фреймов [3].

Существующие подходы к построению имитационных моделей сложных систем имеют ряд существенных недостатков:

- отсутствуют достаточно универсальные структуры для моделирования, которые позволяют описать процесс функционирования таких сложных комплексов, которыми являются БАК;

- создание имитационных моделей сводится к построению программ моделирования, что под силу опытным программистам, а не конечным пользователям (разработчикам БАК);

- отсутствуют визуальные средства настройки и задания исходных данных моделирования характеристик БАК.

Предлагаемый метод обеспечивает выполнение следующих требований по контролю характеристик БАК: системность; универсальность; комплексность; открытость к новым характеристикам БАК.

Метод решения

Проведенный анализ возможных формальных методов построения имитационных моделей пока-

зал, что в качестве достаточно гибкого и универсального подхода к синтезу структуры моделирования БАК можно использовать фреймы знаний и их алгебраические преобразования [3].

В процессе проектирования БАК важная часть сформированных знаний об объектах и системах управления может быть отражена в лингвистической форме. Вот почему отнесенные к классу логико-лингвистических моделей сети фреймов разрешают достаточно эффективно и универсально описывать такие сложные и многоцелевые системы, как БАК. В работе предложены и выделены два типа фреймов для моделирования характеристик БАК:

- фреймы для описания знаний (фактов) проектирования;

- процедурные фреймы для реализации механизма имитационного моделирования.

Первый тип фреймов используется для описания проектируемых структур БАК и функциональных процессов. Второй тип реализует все основные составные части имитационных моделей, включая управление ходом моделирования (события, устройства, очереди, время и т.п.).

Для формирования фреймовых структур моделирования выделен целый ряд алгебраических преобразований и операций, таких как копирование, модификация, композиция, исключение и т.д. При исследовании БАК выделим множество компонент T , их свойств S , отношений между T и S – O и отображений – G . Модель БАК будет представлять собой множество структур вида $M: \{STR, G\}$, где STR – элемент множеств T , S и O . Так как в ходе функционирования БАК происходит изменение состояний системы, то для формального представления динамики функционирования необходимо обозначить множество правил P целенаправленного изменения модели M в рамках заданного критерия (критериев). Если с помощью правил $p_k \in P$ модель переходит из состояния M_i в M_j , то упорядоченная последовательность правил (процедур) $p_1 > p_2 > \dots > p_s$ представляет собой описание изменения модели M из состояния

M_1 в конечное состояние M_s и определяет стратегию управления ходом имитационного моделирования. Учитывая сложное многоуровневое представление создаваемых БАК, любой элемент модели M можно описать в виде иерархической информативной структуры, где n -й уровень иерархии можно представить в виде множества элементов STR_n . При описании БАК формируется база знаний (БЗ) с помощью операций включения и композиции. Сначала определяется базовое множество элементов B_{str} . Далее, используя процедуру индуцирования и множество последовательных отображений, строится $M':(B_{str}, >)$, где $>$ – отношение частичного упорядочивания. Окончательно БЗ БАК строится в виде множества Are , элементы которого являются элементами множества B_{str} : $Are = \{str_1, str_2, \dots, str_k\}$.

Моделирование процесса функционирования БАК в Are будет заключаться в изменении фрагментов $str_i \in B_{str}$ с отношениями внутри множества B_{str} .

Основной упор в предложенной методике сделан на учет системных факторов, без которых практически невозможно представить и оценить БАК: структурные свойства проектируемой системы; ход функционирования (алгоритмические свойства); пространственно-временные действия и события (динамика) БАК.

Предложенная методика состоит из двух этапов:

- статическая оценка и контроль ТТХ;
- динамический анализ ТТХ.

Статический анализ служит для проведения первых контрольных действий заказчика по оценке основных характеристик (например: дальность полета, надежность, точность позиционирования), представленных проектировщиками БАК. Структурные свойства БАК задаются в виде стратифицированного графа системы, и далее превращаются во фреймовые представления модели – FM . Алгоритмическое представление хода функционирования задается алгоритмами функционирования в виде граф-схемы FA . Временной фактор в статическом анализе в явном виде не присутствует, а представлен косвенно, путем частичного упорядочения (квазиупо-

рядочивания) графа функционирования $FA \rightarrow FA'$. Системные (интегрированные) оценки основных характеристик возникают в ходе имитационного моделирования на выходе модели БАК путем трансформации и накопления значений оценок на отдельных узлах и системных каналах. Например, в методике расчета системной надежности надежность БАК определяется как возможность безотказной работы системы за данное время $P_{сист} = \text{Exp}(-\sum T_i \lambda_i)$, где λ_i – интенсивность отказов i -го узла (канала) за время работы T_i . Значение суммы $\sum T_i \lambda_i$ формируется в ходе имитации выполнения задач (трансформации) и накопления значений на каждом узле (канале) с учетом структуры FA' . При разветвлении i -й вершины графа выбирается худшее значение $\max(T_i \lambda_i)$ – для оптимистичной оценки и $\sum T_i \lambda_i$ – для пессимистической оценки надежности. Полученные оценки являются основой для контрольного сравнения результатов проектирования с техническими требованиями БАК. На рис. 1 представлена блок-схема статического анализа БАК.

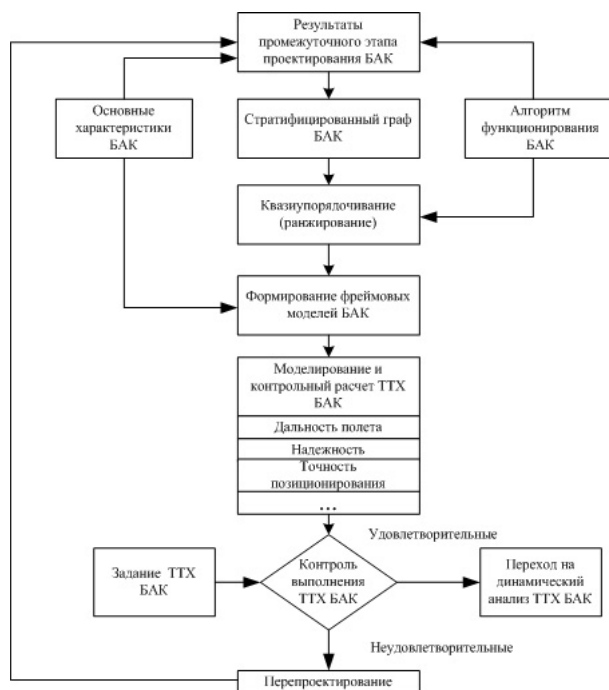


Рис. 1. Блок-схема статического анализа БАК

Динамический анализ дополняет и уточняет системные оценки характеристик БАК. В отличие от первого этапа, фреймовая структура динамической модели отвечает требованиям к имитационным мо-

делям подобного типа, в которых полностью учтены архитектура, алгоритмы функционирования и действия в пространстве и времени при выполнении задач БАК. В качестве основного фактора в управлении моделью используется значение системного времени. Настройка модели БАК выполняется с помощью визуального графового представления сложной системы. Используя разработанный редактор блок-схем, осуществляется формирование стратифицированной структуры БАК – FS . Далее формируются маршруты (трафики) выполнения отдельных функциональных задач БАК – FZ_j .

На следующем этапе осуществляется закрепление трафиков выполнения задач по узлам стратифицированной структуры БАК путем последовательного отображения $FZ_j \rightarrow FS$ с получением граф-схем FZS_j .

Один из ответственных этапов, которые определяют новизну, универсальность и ценность предложенной модели – это этап преобразования сетевой графы-схемы FZS_j во фреймоподобную внутреннюю структуру моделирования FR . Для этого с помощью алгебраических операций и преобразований осуществляется построение следующих фреймов: выполнение задач $FRZS_j$; упорядоченных событий $FRSOB$; отдельных функциональных работ FRR_k и устройств FRY_p ; системных каналов FRK_r ; очередей к работам FRO_b ; результатов моделирования $FRST_q$.

На рис. 2 представлена блок-схема настройки и преобразования внешних представлений конечного пользователя во внутренние структуры моделирования.

Заключение

В работе предложен метод контроля основных характеристик проектируемого беспилотного авиационного комплекса, основанный на знаниеориентированных структурах в имитационном моделировании. Предлагаемый метод позволяет универсально оценить основные характеристики БАК на различных этапах проектирования, начиная от формирования технических требований и кончая изготовлением опытных образцов БАК.



Рис. 2. Блок-схема динамического моделирования БАК

При этом учитываются основные составляющие БАК (архитектура системы, состав функциональных задач, алгоритмы функционирования), а также требования безопасности в контролируемом воздушном пространстве.

Литература

1. Смоляков А.В., Курзаков Б.О. Перспективы и проблемы гражданского применения беспилотных летательных аппаратов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: ХАІ, 2000. – Вип. 14. – С. 60-64.
2. Смоляков А.В., Кулик А.С. Многоцелевой комплекс беспилотных летательных аппаратов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: ХАІ, 1997. – Вип. 5. – С. 38-42.
3. Федорович О.Е., Белецкий И.В. Системное моделирование и расчет характеристик проектируемых аэрокосмических комплексов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: ХАІ, 1998. – Вип. 6. – С. 341-344.

Поступила в редакцию 23.08.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.