

УДК 351.864:001.89(043.2)

Б.А. Демидов, С.И. Хмелевский, О.А. Хмелевская

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ВНЕШНЕМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ОБРАЗЦОВ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*В статье на системно-концептуальном уровне рассматриваются вопросы моделирования, применяемого при предпроектных исследованиях и внешнем проектировании сложных образцов ВВТ в процессе обоснования оперативно-тактических требований к образцам и формирования их концептуальных проектных моделей.*

**Ключевые слова:** математическая модель, адекватность, расчетный сценарий, расчетная боевая задача, вычислительный эксперимент.

### **Введение**

Для современных образцов ВВТ становится характерным их более быстрое обновление и повышение сложности, что обуславливает ужесточение требований к их качеству и срокам создания, усиливает роль и значимость в общем процессе их создания предпроектных исследований и внешнего проектирования, выполняемых на концептуальной стадии проработки образцов ВВТ.

На концептуальной стадии должны быть всесторонне обоснованы оперативно-тактическая необходимость, техническая реализуемость и экономическая целесообразность создания исследуемого образца ВВТ. На этой стадии в процессе концептуальных и обликковых исследований должна быть сформирована концептуальная проектная модель, служащая основой для выполнения проектно-конструкторских работ на стадии ОКР.

Формирование концептуальной проектной модели образца ВВТ должно быть ориентировано на определение его места и роли в системе вооружения группировки войск (сил), в составе которой образец должен применяться, и возлагаемых на него задач. В соответствии с этими задачами должны предъявляться оперативно-тактические требования к образцу ВВТ и согласованно с ними устанавливаться другие требования, от которых зависят техническая реализуемость и военно-экономическая целесообразность создания образца. В концептуальной проектной модели отражаются концепция (ее оперативно-тактическая, научно-техническая и производственно-экономическая стороны) и технический облик образца ВВТ, подлежащего разработке [1 – 5].

Выполнение перечисленных исследований и концептуальных проработок сложных наукоемких образцов ВВТ в достаточно полном объеме и в приемлемые сроки практически не может быть осуществлено без широкого применения математического моделирования с использованием современных программ-

но-аппаратных средств и соответствующих информационных технологий в рамках системы подготовки и принятия решений в военно-технической области. Здесь, прежде всего, при обосновании оперативно-тактических требований, предъявляемых к образцу ВВТ, необходимо проведение моделирования процессов применения образца по назначению при ведении боевых действий. Далее при формировании технического облика образца ВВТ возникает необходимость моделирования процессов функционирования образца как технического объекта при различных вариантах его конструктивно-технического исполнения с целью выбора варианта, наиболее предпочтительного для реализации в условиях существующих ограничений научно-технического и производственно-экономического характера, а также в прогнозных условиях применения по назначению оперативно-тактического характера [6 – 9].

Прибегать к математическому моделированию приходится и на последующих стадиях жизненного цикла разрабатываемого образца (при эскизном и техническом проектировании, испытаниях опытных образцов, при вводе в эксплуатацию, отработке системы эксплуатации образца и т.п.).

Для исследования создаваемых образцов ВВТ методами моделирования должна быть сформирована соответствующая информационно-моделирующая среда (ИМС), представляющая собой совокупность моделей изучаемого образца ВВТ и решаемых на ее основе информационно-расчетных задач, связанных с единой базой данных. Методология формирования ИМС в настоящее время еще не в полной мере определена и требует своего дальнейшего развития, включая и развитие теории построения математических моделей сложных образцов ВВТ [10 – 17].

### **Основная часть**

В процессе создания образца ВВТ его математическая модель, как правило, не остается неизменной, а по мере получения и накопления данных (в

том числе и экспериментальных) при проектно-конструкторской отработке создаваемого образца и его испытаниях непрерывно уточняется. Такой подход к модельному представлению образца ВВТ в итоге позволяет получить более адекватную его модель. При этом следует учитывать, что адекватность характеризуется не только степенью точности воспроизведения процессов функционирования исследуемого образца, но и соответствием модели решаемой с ее помощью задаче.

Последнее утверждение вытекает из того, что для сложных образцов ВВТ практически невозможно создать единую модель, пригодную для решения широкого комплекса задач путем проведения имитационных (вычислительных) экспериментов даже на современных высокопроизводительных ЭВМ.

При построении математических моделей возникают существенные затруднения, обусловленные объективным противоречием между желанием сделать представление динамики функционирования объекта моделирования как можно более полным, что усложняет математическую модель и аппарат ее исследования, и необходимостью иметь достаточно простую модель, исследование которой возможно менее сложными методами.

Как правило, полезной является разработка нескольких вариантов модели образца ВВТ при упрощенном его формализованном описании с использованием, по возможности, отработанных типовых математических схем со структурой и параметрами, отображающими объект моделирования в целом или отдельные его компоненты, подлежащие исследованию. Такие упрощенные модели часто позволяют получить ответы на многие принципиальные вопросы и понять основные закономерности поведения объекта моделирования еще до реального воплощения его в виде определенного конструктивно-технического исполнения. Кроме того, такие модели могут оказать существенную поддержку процессу создания и отработки модели с более высокой степенью адекватности реальному объекту моделирования и пониманию основных закономерностей поведения этой модели при меньшем объеме проводимых имитационных экспериментов.

Таким образом, к одному из основных постулатов, относящихся к области моделирования сложных образцов ВВТ, следует отнести утверждение о том, что качество математической модели должно оцениваться не только по степени ее точности, но и по степени адекватности решаемой задаче. Часто удачный выбор или построение математической модели является решающим шагом к достижению цели моделирования.

Имитационные (вычислительные) эксперименты, проводимые в процессе моделирования, позволяют уточнить основные характеристики разраба-

тываемого образца ВВТ, провести достаточно полные его исследования, значительно сузить круг задач экспериментальной отработки образца и в целом снизить затраты времени и ресурсов на его создание. Выбор того или иного метода математического моделирования и построения математической модели объекта исследований, отвечающей поставленной инженерной задаче, не может быть в полной мере формализован и требует от разработчика творческого подхода и глубоких знаний в области теории математического моделирования объектов техники, а также предметной области, к которой относятся эти объекты. Практика показывает, что выбор адекватной математической модели, позволяющей достаточно быстро и эффективно решить поставленную инженерную задачу на ЭВМ, обычно представляет наибольшие трудности.

К числу ключевых задач предпроектных военно-научных исследований, проводимых при обосновании оперативно-тактических требований к перспективным образцам ВВТ, относятся задачи разработки математических моделей их боевого функционирования и оценивания с помощью моделей эффективности применения этих образцов по назначению.

Обычно типовую операцию (процесс боевого функционирования того или иного образца ВВТ) рассматривают в рамках целевой расчетной боевой задачи с отображением противоборства двух конфликтующих сторон. Описание операции (боевых действий) принято представлять в виде сценариев и моделей. Сценарий – это качественное структурно-функциональное описание операции, а модель – формализованное описание, ориентированное на количественный анализ и компьютерное программное представление. При этом возможности и достоверность моделирования в значительной мере будут определяться используемыми исходными данными.

Модели боевого функционирования образцов ВВТ должны быть:

адекватными процессу боевых действий, рассматриваемых в рамках расчетной боевой задачи; критичными (чувствительными) к исследуемым характеристикам и параметрам образца ВВТ, условиям его боевого применения;

обладающими необходимой точностью определения оценок значений количественных показателей эффективности боевого функционирования образца ВВТ;

достаточно простыми и удобными для применения, обеспечивающими проведение исследований в заданных диапазонах изменения рассматриваемых воздействующих факторов и параметров образца ВВТ, а также в приемлемых временных интервалах.

Под моделью боевого функционирования образца ВВТ будем понимать структурно-

функциональное представление процесса его применения в составе системы вооружения группировки войск (сил), отражающее выполнение той или иной расчетной боевой задачи (РБЗ) из определенной совокупности РБЗ расчетного сценария. При этом к расчетному сценарию будем относить содержательное представление упорядоченной по целевому назначению и времени представительной совокупности РБЗ, которые должны быть выполнены тактической группой образцов ВВТ в течение заданного времени (операции, боевых действий).

Расчетная боевая задача может быть содержательно представлена упорядоченными по определенным признакам:

номенклатурой и численностью объектов воздействия образца ВВТ;

условиями применения и базирования образца ВВТ;

номенклатурой и численностью средств противодействия противника;

особенностями боевого управления образцом и обеспечения его применения для заданного района ведения боевых действий и т.п.

РБЗ, которые должны быть выполнены за расчетную операцию, могут быть охарактеризованы следующими признаками: характером, степенью важности, удельным весом, объемом, потребным временем выполнения и некоторыми другими показателями.

Каждая РБЗ может быть представлена множеством расчетных типовых задач (РТЗ), характеризующих, в частности, типаж объектов воздействия и их характеристики, способы выполнения РБЗ и т.п.

Условия выполнения РБЗ могут различаться: по месту, области боевых действий, времени, метеословиям, боевым порядкам, базированию, обстановке (радиационной, химической), боевому напряжению, объектам воздействия, средствам противодействия противника, тактическим приемам действия, обеспечению, боевому управлению, взаимодействию.

Расчетные боевые задачи и условия их выполнения служат основой для формирования оперативно-тактических требований, предъявляемых к образцам ВВТ.

Исходные данные, характеризующие РБЗ, условия боевого применения и оперативно-тактические требования, используются для разработки системы моделей боевого функционирования образцов ВВТ, порядок выполнения которой может быть представлен тремя этапами. На первом этапе формируются типовые тактические схемы решения РБЗ. На втором этапе на основе тактических схем отрабатываются структурные схемы моделей функционирования, в которых увязываются основные этапы боевого цикла образца ВВТ. На третьем этапе

разрабатываются пространственно-временные схемы решения РБЗ.

Система моделей (или модель), описывающая боевое применение образца ВВТ, должна имитировать процесс функционирования образца в составе расчетной тактической группы (боевого наряда) на типовом оперативно-тактическом фоне и устанавливать соответствие между значениями показателей эффективности функционирования образца и исследуемым вариантом его применения.

Модели боевого функционирования образцов ВВТ должны строиться в соответствии со следующими исходными положениями:

действия тактической группы должны описываться за время, равное продолжительности расчетной операции, применительно к заданным районам действий;

область действия образца ВВТ при выполнении РБЗ должна определяться заданными оперативно-тактическими параметрами РБЗ;

номенклатура, количество, характеристики и условия применения средств противодействия противника должны определяться в зависимости от района боевых действий и расчетного периода времени прогнозирования;

элементы боевого управления тактической группой (боевым нарядом) образцов ВВТ должны учитываться в той мере, в какой они важны для обоснования требований к ТТХ образца ВВТ;

цикл боевого функционирования должен имитироваться в соответствии с последовательным прохождением основных этапов боевых действий;

должны учитываться элементы технической эксплуатации и боевого обеспечения, квалификация лиц боевого расчета и т.п.

Задача разработки моделей боевого функционирования и оценивания эффективности применения образца ВВТ в соответствии со своим предназначением может быть сформулирована следующим образом:

разработать систему моделей боевого функционирования образца ВВТ, описывающих выполнение совокупности РБЗ в течение заданного периода времени, которые должны позволять проводить исследования влияния основных ТТХ образца ВВТ на показатели эффективности его функционирования для единого оперативно-тактического фона расчетной операции, реализуемого посредством использования расчетного сценария и ряда РБЗ, являющихся наиболее представительными для описания функционирования образцов ВВТ конкретного вида (типа).

Задача исследований с использованием моделей боевого функционирования образца ВВТ может быть представлена следующим образом:

для заданных варианта исполнения образца ВВТ рассматриваемого целевого назначения (име-

ющего заданную совокупность ТТХ), множества расчетных типовых задач каждой РБЗ, характеризующего совокупность объектов воздействия, определить значения основных принятых для сравнительного оценивания показателей качества и эффективности функционирования образца ВВТ в пространстве ситуаций, описываемых расчетным сценарием и множеством состояний внешней среды при выполнении заданного множества РБЗ.

Общая схема решения задачи оценивания эффективности боевого функционирования образца ВВТ методами имитационного моделирования должна включать в себя:

блок исходных данных (типы РБЗ и РТЗ (в рамках каждой РБЗ, если это предусматривается) и условия их выполнения, объемы РБЗ, увязанные в расчетном сценарии, состав и характеристики средств противодействия противника, боевое управление и обеспечение, физико-географические и климатические условия районов применения, основные ТТХ образца ВВТ);

алгоритм формирования расчетного сценария; модели боевого функционирования образца ВВТ, отражающие и включающие в себя тактические схемы решения РБЗ, структурные схемы моделей функционирования, пространственно-временные схемы РБЗ, блоки расчета основных этапов выполнения РБЗ, блоки технического обслуживания, устранения отказов, неисправностей и ремонта с целью устранения боевых повреждений;

алгоритм расчета значений основных показателей, характеризующих процесс боевого функционирования образца ВВТ.

Описанная схема отражает общее представление о технологии решения задачи. Для конкретных задач эта схема должна конкретизироваться с учетом специфики рассматриваемого образца ВВТ и выполняемых им задач.

За основу моделирования и оценивания эффективности боевого функционирования исследуемого сложного образца ВВТ в рамках приведенной выше задачи может быть принят метод статистических испытаний [18] как наиболее адекватно отражающий реальные боевые процессы и позволяющий достаточно полно учесть элементы неопределенности и случайности в объемах РБЗ и условиях их выполнения за расчетную операцию.

Построение аналитических моделей, описывающих боевое функционирование образцов ВВТ в сложных многофакторных задачах, оказывается трудноосуществимым.

В целом методология исследований образцов ВВТ с использованием моделирования их боевого функционирования должна позволять выполнять комплексное оценивание образцов и их основных составных частей, получать количественные значе-

ния выбранных показателей оценивания оптимизировать ТТХ, обосновывать требования к перспективным и модернизируемым образцам.

Практическая реализация возможностей математического моделирования и вычислительных экспериментов, проводимых на ЭВМ, существенно повышает эффективность проектных инженерных работ, особенно при создании принципиально новых, не имеющих прототипов образцов ВВТ.

Весьма важным является то, что математическое моделирование на ЭВМ позволяет объединять формальное и неформальное мышление и естественным образом сочетать вычислительные возможности ЭВМ со свойствами интеллекта исследователей – разработчиков сложных технических систем.

## Выводы

Опыт применения моделирования позволяет сделать очень важный принципиальный вывод методологического характера: использование достаточно полного, теоретически и инженерно обоснованного вычислительного эксперимента на всех этапах создания образцов ВВТ с возможностью:

построения адекватных математических моделей; достаточно полной имитации внешних условий; изучения поведения образца в разных гипотетических ситуациях его применения по назначению и др.

является весьма экономичным аппаратом исследования и синтеза сложных наукоемких образцов ВВТ, позволяющим существенно ускорить и в значительной степени автоматизировать процесс их разработки, повысить качество отработки при выполнении проектно-конструкторских работ и сузить круг вопросов, выносимых на экспериментальную отработку опытных образцов и их натурные испытания.

Однако необходимо помнить, что степень успешности решения задач предпроектных исследований, внешнего проектирования и инженерных проектно-конструкторских задач с использованием аппарата моделирования целиком определяется состоятельностью применяемых моделей. Это обуславливает необходимость построения таких моделей, которые были бы адекватны объекту моделирования и решаемым задачам, были бы доведены практически до требуемого уровня совершенства.

К числу важнейших направлений совершенствования методологии моделирования в военнотехнической области и дальнейшего развития методических средств предпроектных военнотехнических исследований ВВТ может быть отнесена разработка и совершенствование методов синтеза расчетных сценариев и расчетных боевых задач, ориентированных на оптимизацию оперативно-тактических требований, предъявляемых к образцам ВВТ, на основе современных математических и программных средств с использованием вычислительных экспериментов,

проводимых на программно-реализованных моделях боевого функционирования разрабатываемых образцов ВВТ. Расчетные сценарии и расчетные боевые задачи должны рассматриваться как одни из основных элементов исходных данных, от которых в существенной степени зависят полнота и объективность результатов оценивания показателей эффективности боевого применения образцов ВВТ методами имитационного моделирования.

### Список литературы

1. Гриб Д.А. Методологічний підхід до формування технічного обриску перспективних зразків та зразків озброєння і військової техніки, що модернізуються / Д.А. Гриб, Б.О. Демідов, М.В. Науменко // Наука і оборона. – 2009. – №4. – С. 30-34.
2. Гриб Д.А. Системно-концептуальні основи і елементи методології формування оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог, що пред'являються до перспективних зразків озброєння і військової техніки та зразків, що модернізуються / Д.А. Гриб, Б.О. Демідов, М.В. Науменко // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – №2(18). – С. 65-73.
3. Демидов Б.А. Методический подход к формированию облика перспективных боевых авиационных комплексов / Б.А. Демидов, О.А. Хмелевская // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 2(4). – С. 58-64.
4. Демідов Б.О. Системна методологія обґрунтування, формування та реалізації оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог до зразків (комплексів, систем) озброєння та військової техніки / Б.О. Демідов, М.І. Луханін, М.В. Науменко // Наука і оборона. – 2011. – № 1. – С. 45-50.
5. Демидов Б.А. Системная методология формирования концептуальных проектных моделей перспективных сложных образцов вооружения и военной техники / Б.А. Демидов, М.В. Науменко // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 1. – С. 8-15.
6. Математическое моделирование при формировании облика летательного аппарата / В.В. Гуляев, О.Ф. Демченко, Н.Н. Долженков и др.; Под ред. В.А. Подобедова. – М.: Машиностроение / Машиностроение-Полюс, 2005. – 496 с.

7. Тарасов Е.В. Методы проектирования летательных аппаратов / Е.В. Тарасов, В.М. Балык. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. – 412 с.

8. Высокоточные системы самонаведения: расчет и проектирование. Вычислительный эксперимент / К.А. Пупков, Н.Д. Егунов, Л.В. Колесников, Д.В. Мельников, А.И. Трофимов; под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова. – М.: Физматлит, 2011. – 512 с.

9. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники / Б.А. Демидов, М.И. Луханин, А.Ф. Величко, М.В. Науменко; под ред. Б.А. Демидова. – К.: ИД «Стилос», 2011. – 464 с.

10. Алгазинов Э.К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э.К. Алгазинов, А.А. Сирота. – М.: Диалог – МИФИ, 2009. – 416 с.

11. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, В.В. Тарасов, В.К. Голиков, Б.Е. Демин; под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с.

12. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.

13. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем / О.И. Шелухин, А.М. Тенякиев, А.В. Осин. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

14. Строгалев В.М. Имитационное моделирование / В.М. Строгалев, И.О. Толкачова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 280 с.

15. Советов Б.Я. Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.

16. Емельянов В.В. Имитационное моделирование систем / В.В. Емельянов, С.И. Ясиновский. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 584 с.

17. Казиев В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем / В.М. Казиев. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. – 244 с.

18. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло / Г.А. Михайлов, А.В. Войтищук. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.

Поступила в редколлегию 17.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Рубан, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРЕДПРОЕКТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ТА ЗОВНІШНЬОМУ МОДЕЛЮВАННІ СКЛАДНИХ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Б.О. Демідов, С.І. Хмелевський, О.О. Хмелевська

У статті на системно-концептуальному рівні розглядаються питання моделювання, яке застосовується при предпроектних дослідженнях і зовнішньому моделюванні складних зразків ОВТ в процесі обґрунтування оперативно-тактичних вимог до зразків та формування їх концептуальних проектних моделей.

**Ключові слова:** математична модель, адекватність, розрахунковий сценарій, розрахункова бойова задача, обчислювальний експеримент.

### METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF MODELING FOR PRE-PROJECT RESEARCHES AND EXTERNAL DESIGN OF COMPOUND OBJECTS OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT

B.A. Demidov, S.I. Khmelevskiy, O.A. Khmelevskaya

Questions of modeling for pre-project researches and external design of compound objects of armament and military equipment are examined in the paper at system-conceptual level in the process of justifying operational and tactical requirements to the objects and forming their conceptual project models.

**Keywords:** mathematical model, adequacy, rated scenario, rated mission, computing experiment.