

УДК 629.7.05

С.Г. БРАЙТКРАЙЦ, доктор
технических наук, старший
научный сотрудник
П.С. ВОРОНЦОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНТЕРЕСАХ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статье показано применение имитационного моделирования для поддержки принятия решения по обоснованию выбора приоритетных направлений развития вооружения, военной и специальной техники. Описана предметная область имитационного моделирования. Сформулированы функции имитационного моделирования. Приведена сравнительная структурно-функциональная схема оценки выбора и реализуемости научно технологических решений. Приведены достоинства этого подхода. Проведен анализ положительного опыта использования имитационного моделирования при создании образцов вооружения, военной и специальной техники в стране и за рубежом. Указано на необходимость создания макета первой очереди (с ограничением количества моделируемых технологий) имитационных экспериментальных стендов для оценки реализуемости и эффективности технологий высокоточного оружия, навигации и радиолокации для перспективных образцов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: имитационное моделирование; технологические уровни; реализуемость; эффективность; проектирование.

1. Введение

Необходимым условием развития вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) является активное внедрение в перспективных образцах новых научно-технологических решений и нетрадиционных подходов к совершенствованию ВВСТ. Мировая практика показывает, что научно-технический задел, сформированный в ходе выполнения поисковых, прикладных и технологических НИОКР, остается в значительной степени невостребованным. Хотя само понятие научно-технического задела (научного, научно-технологического, производственно-технологического) предполагает наличие избыточности (запаса) результатов, что, вообще говоря, является закономерным, поскольку количество и объем исследовательских работ всегда оказываются существенно шире, чем требуется

для разработки конкретного образца ВВСТ в последнее время становится очевидной необходимость создания инструментария или аппарата, позволяющего оценить реализуемость и (на следующем этапе тестирования оцениваемых решений) эффективность имеющихся научно-технических и технологических решений для конкретного образца вооружения и конкретного сценария боевых действий. Данное обстоятельство продиктовано, в первую очередь, потребностью в поддержке принятия решения по обоснованию выбора приоритетных направлений развития ВВСТ. В монографии [1] показано, что методические вопросы оценки степени готовности научно-технического задела для создания перспективного ВВСТ находятся только на уровне становления, хотя актуальность подобных оценок возникает в процессе обоснования практически любой ОКР. В США и Великобритании для оценки зрелости конкретных технологий длительное время использовалась специальная вербально-числовая шкала, с помощью которой текущий уровень развития любой технологии может быть отнесен к одному из 9 уровней (TRL – technology readiness level) технологической готовности. Однако возможности данного подхода применительно к формированию облика сложных технических систем обладают двумя существенными недостатками. Первый недостаток – в основе данного подхода лежит аппарат экспертных оценок, который позволяет получить только некоторую (нечеткую) коллективную оценку уровня готовности технологий, которая вряд ли может быть полезной при оценке применимости технологии в конкретном образце ВВСТ, а тем более при формировании тактико-технических требований, предъявляемых к технической системе, средству, устройству, в которых предполагается применение данной технологии. Вторым недостатком – размерность процесса оценки – может оказаться настолько большой, что сопутствующие организационные процедуры (с учетом неизбежных бюрократических элементов) экспертных оценок и их обработки сделают невозможным с системной позиции оценить интегральную реализуемость и эффективность предлагаемых технологий в рассматриваемом образце ВВСТ при решении конкретной боевой задачи. В качестве иллюстрации можно привести структурно-технологическую схему облика комплекса бортового оборудования гипотетической крылатой ракеты (рисунок 1).

Каждая из приведенных на схеме подсистем комплекса бортового оборудования может быть представлена несколькими типами. Напри-

мер, для инерциальной системы – пять типов, для локальных радионавигационных систем и систем наведения – около десяти и т.д. Таким образом, количество оцениваемых, возможных сочетаний подсистем навигации и наведения и технологий, потенциально реализуемых в этих системах, может составить несколько сотен вариантов. Влияние разрабатываемых технологий может происходить на всех уровнях структурно-технологической схемы – от уровня чувствительных элементов до уровня комплекса бортового оборудования в целом. Учитывая при этом многовариантность сценариев и боевых задач, выполняемых образцами ВВСТ (рисунок 2), множественность подходов по созданию информационного и программно-алгоритмического обеспечения, решение задачи оценки реализуемости технологий на основе аппарата экспертных оценок становится практически неподъемным.

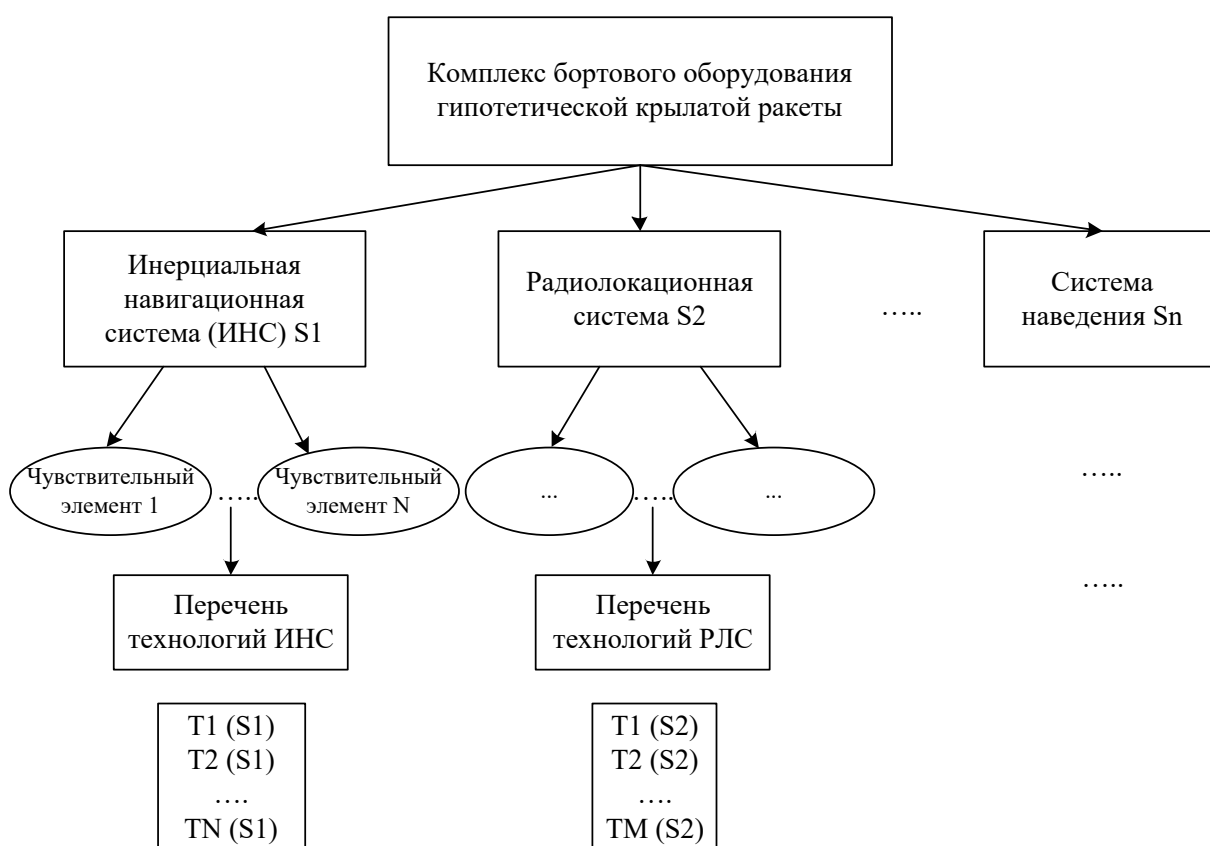


Рисунок 1 – Структурно-технологическая схема облика комплекса бортового оборудования гипотетической крылатой ракеты

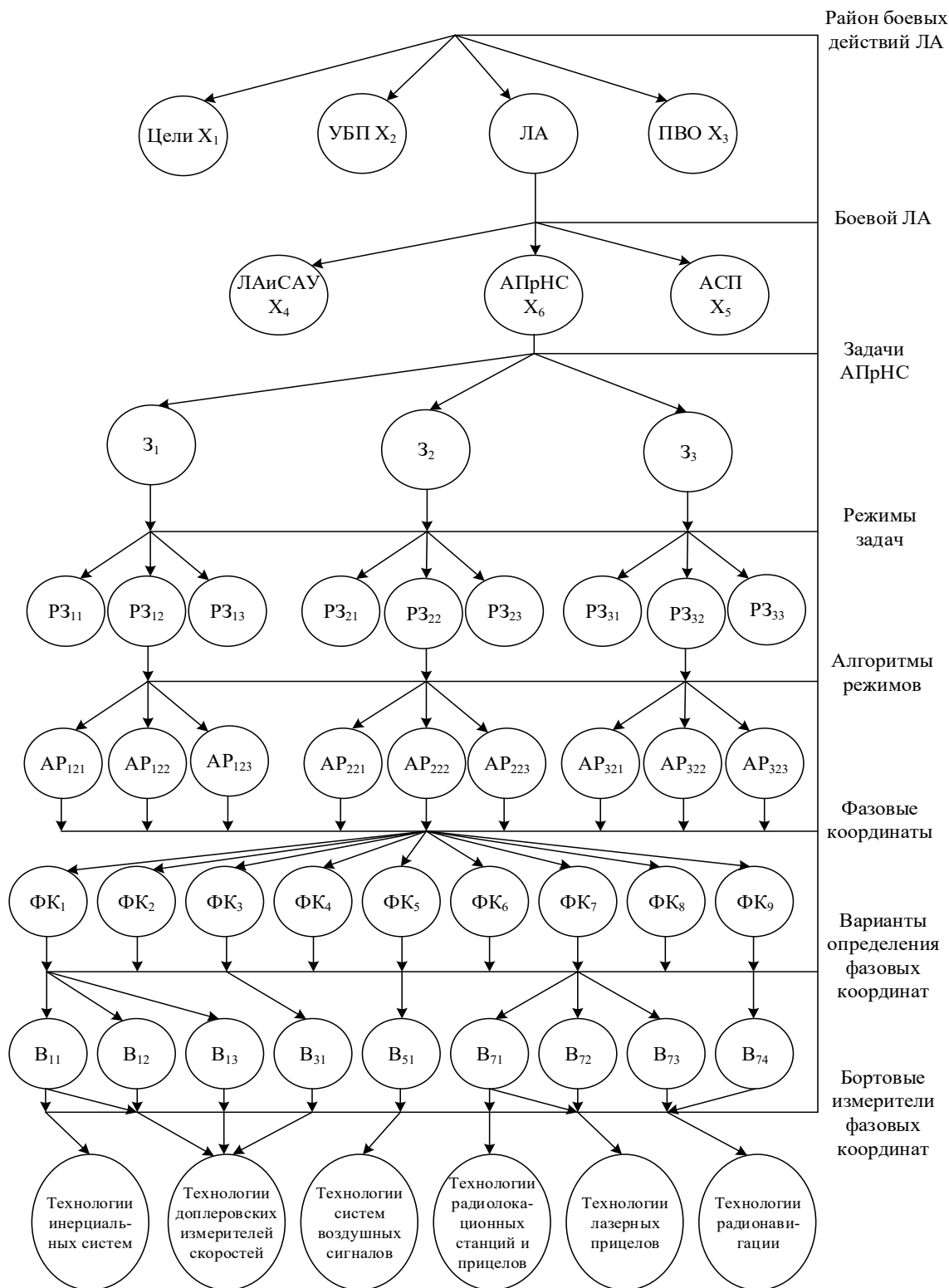


Рисунок 2 – Схема взаимосвязи сценариев боевых задач, выполняемых авиационным комплексом, и применяемых технологий

2. Имитационное моделирование применительно к развитию технологий ВВСТ

В настоящее время научно-исследовательскими организациями ОПК РФ и аналогичными структурами за рубежом при разработке, создании, испытаниях и эксплуатации (боевом применении) образцов ВВСТ самым активным образом применяется имитационное моделирование. Имитационное моделирование осуществляется посредством моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения, в том числе комплексных тренажеров подготовки операторов объектов ВВСТ всех видов базирования.

Проблему оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий в конкретных применениях целесообразно начинать с уточнения исследуемой предметной области, ее структуризации и выделения иерархических уровней, поскольку каждый уровень технологий, несомненно, потребует разработки своей (соответствующей) совокупности моделей. Так, в монографии [2] приведена информационно-логическая модель предметной области «военно-техническое обеспечение военной безопасности государства». По характеру влияния причинно-следственных связей в этой модели выделено семь иерархических уровней.

Центральный уровень – «система вооружения» и макроуровни – «воинские формирования», «группировки войск», «угрозы безопасности» являются определяющими для развития ВВСТ и в силу специфики моделирования составляют отдельную предметную область.

В качестве же непосредственно технологических уровней могут быть выделены три уровня: технологии создания перспективного, в том числе нетрадиционного ВВСТ – 1 уровень; технологии функционально полных систем, блоков и модулей (технологии, направленные на модернизацию образцов ВВСТ) – 2 уровень; технологии комплектующих изделий (элементов) и материалов (повышения качества ВВСТ) – 3 уровень. Естественно, что такое разделение носит достаточно условный характер и четкой границы между указанными уровнями нет. Вместе с тем данная стратификация технологий и соответствующих моделей представляется удобной именно в целях имитационного моделирования. Таким образом, предметную область имитационного моделирования в интересах обоснования направления военно-технической политики (ВТП) составляют:

А. Технологии, как совокупность знаний и документированных данных о принципах, приемах и способах получения, обработки веществ, материалов, энергии и информации для создания изделий, узлов, агрегатов, составных частей, а также для решения боевых задач [1].

Б. Существующие и перспективные образцы ВВСТ.

В. Сценарии и боевые задачи с соответствующими фоноцелевыми обстановками.

После отграничения и стратификации предметной области попробуем сформулировать функции имитационных моделей, в частности, и имитационного моделирования вообще в рассматриваемой проблеме оценивания реализуемости и оценки эффективности разрабатываемых технологий. Идея представления объекта, системы или понятия при помощи модели носит столь общий характер, что дать полную классификацию всех функций модели затруднительно. При этом автор [3] приводит пять наиболее распространенных функций моделей. В несколько адаптированном к целям настоящей работы виде они могут быть представлены как:

модели, как средство уточнения и упорядочения знаний об исследуемом объекте, системе или технологии;

модели, как средство демонстрации исследуемого объекта, системы или технологии;

модели, как средство обучения и тренажа;

модели, как средство прогнозирования;

модели, как средство эксперимента.

Из представленного перечня функций имитационных моделей для оценки применимости в образцах ВВСТ вероятно наименьшую ценность представляют модели, как средство обучения, хотя и здесь имитационное моделирование процессов планирования боевых действий (задач), оборудования районов боевых действий, предварительной оценки эффективности может оказаться незаменимым.

Наибольший интерес может представлять имитационное моделирование как методология прогнозирования и как средство эксперимента. Такое моделирование и соответствующие оценки особенно актуальны применительно к технологиям нетрадиционного ВВСТ. Данное направление выделено в самостоятельное, поскольку является наиболее сложным, трудноформализуемым и существенно различающимся в за-

висимости от вида имитируемого объекта ВВСТ, поскольку зачастую методик испытаний и методик прогнозирования развития нетрадиционного ВВСТ практически нет. На рисунке 3 приведена сравнительно-структурно-функциональная схема оценки выбора и реализуемости научно технологических решений в образцах ВВСТ в задаваемых условиях боевого применения при существующем подходе, основанном на экспертных оценках и при использовании аппарата имитационного моделирования.

К достоинствам предлагаемого подхода сразу можно отнести:

сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий.

При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;

наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов ВВСТ с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий и этапом формирования научно-технического задела;

сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел развития ВВСТ;



Рисунок 3 – Структурно-функциональная схема оценки выбора и реализуемости научно технологических решений в образцах ВВСТ

возможность непрерывного мониторинга всех фаз проектирования и создания перспективных систем и комплексов;

возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

Имитационные модели и аппарат имитационного моделирования должны быть:

простыми и понятными потребителю;

надежными и обладающими информационной полнотой с точки зрения решения главных задач;

адаптивными, позволяющими легко переходить к разным объектам ВВСТ, разным фоно-целевым обстановкам.

В монографии [3] подчеркивается, что чрезвычайно важно определить потребителя информации, которую предоставляют имитационные модели и аппарат имитационного моделирования. В рассматриваемой задаче потребителем результатов имитационного моделирования, безусловно, выступают органы, организации, структуры, которые отвечают за разработку (развитие) и реализацию ВТП: органы военного управления, отвечающие за развитие закрепленной номенклатуры ВВСТ и формирование предложений в проект ГОЗ (Довольствующие органы) и органы военного управления, обеспечивающие размещение заказа и осуществляющие сопровождение государственных контрактов, заключенных в рамках ГОЗ от имени Минобороны (Заказывающие органы).

3. Опыт использования имитационного моделирования при создании перспективных образцов ВВСТ

В США оценкой реализуемости для выполнения конкретных задач новейших технических и технологических решений занимается корпорация SAIC (Science Application International Corporation), являющаяся крупнейшей в мире научно-исследовательской организацией в области имитационного моделирования. В корпорации был создан экспериментальный стенд-имитатор для проведения испытаний передовых навигационных технологий (Simulink Experimentation Testbed for Advanced Navigation Technology – SEXTANT) [4].

Имитатор движения SEXTANT обеспечивает пользователю возможность имитации различных платформ. Особенности движения

платформы – носителя имеет важное значение для оценки точности навигационных систем: геодезические координаты требуются для определения геометрии взаимодействующих спутников GPS и оценки напряженности магнитного поля. Скорости и ускорения платформы являются основными параметрами, определяющими значения ошибок инерциальных систем.

Пользователю предоставляются три способа управления платформами: 1) с помощью файлов с предварительно записанными траекториями, 2) с помощью динамических моделей высокой достоверности, 3) управляемых самим пользователем моделей платформ.

Первая опция позволяет использовать выходные сигналы 3-х степенной платформы (пропорциональных линейным перемещениям), либо 6-ти степенной (с формированием сигналов линейного и углового движения). Пользователь может использовать сигналы линейных и угловых скоростей и ускорений для непосредственной имитации акселерометров и гироскопов, либо использовать эти же сигналы для имитации работы инерциальных систем. SEXTANT может также взаимодействовать с другими стендами-имитаторами NASA и Минобороны США, включая такие объекты, как SPARTAN и SAVANT.

Вторая опция основана на высокоточных моделях, имеющихся в SEXTANT, включающие модели наземных роботизированных объектов, беспилотных летательных аппаратов, пусковых установок, реализуя динамические модели непосредственно на стенде, результаты алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ) могут использоваться в качестве входных данных для алгоритмов управления и наведения, обеспечивая тем самым воспроизведение характеристик близких к характеристикам реальных систем.

Третья опция востребована в ситуациях, когда пользователю необходимо оценить поведение платформы в реальном масштабе времени. Это дает возможность, например, для управления платформой в зонах, где отсутствует прием GPS, оценить возможности совместной навигации нескольких платформ, имеющихся на стенде. Выходные данные сгенерированных траекторий могут быть сохранены для возможности пользователю повторного воспроизведения с использованием других конфигураций SEXTANT с другими измерителями и другими алгоритмами.

В SEXTANT имеются модели самых разнообразных стандартных и нестандартных измерителей, приборов и систем, которые пользователь может запускать применительно к той или иной платформе.

Стандартные опции включают GPS, ИНС, магнитометры и высоотомеры, нестандартные – оптические камеры, 3D-лидары, системы связи с функциями определения дальности. Имеются также опции воспроизведения специфического оборудования – одометров, лагов, систем воздушных сигналов.

Помимо выбора измерителей пользователь имеет возможность выбора военного или гражданского приема сигналов GPS, выбора зон с наличием/отсутствием приема сигналов GPS, условий неполного созвездия спутников.

Наиболее точно воспроизводится функционирование оптической камеры и лидара. В модели оптической камеры используются реалистичные радиометрические модели (с учетом характеристик источников света и материалов покрытий) и характеристики камеры (фокус, поле зрения, смаз изображений) для формирования сцен, используемых в качестве входных данных для алгоритмов слежения за изображениями, а также в приложениях, связанных с определением местоположения и картографированием.

SEXTANT представляет целую библиотеку алгоритмов КОИ для выбранного набора навигационных систем и приборов. Основу составляют алгоритмы расширенного фильтра Калмана с оцениванием ошибок всех используемых в стенде измерителей. Имеются наборы эффективных алгоритмов в задачах, где требуется высокая точность и быстроедействие (в задачах с высокой нелинейностью).

В части возможностей визуализации и интерфейса стенд имеет доступ к программе bdStudio, разработанной для Минобороны США и NASA. bdStudio обеспечивает генерацию различных сценариев в реальном масштабе времени. Пользователь может управлять платформой в любом задаваемом районе с регулированием динамических характеристик платформы с изменением конфигурации видимых спутников, либо вообще исключая возможность работы с GPS. Количество взаимодействующих с платформой объектов также может меняться. Имитируемые камеры могут быть помещены в различных положениях, обеспечивая тем самым условия видимости, аналогичные тем, которые будут в реальных боевых условиях.

В Минобороны России подходы с реализацией имитационного моделирования наиболее широкое применение получили в тренажеростроении. Еще в 1970-х гг. были разработаны и успешно эксплуатировались самые разные технические средства обучения, включая такие сложные и совершенные средства, как комплексные тренажеры, позволяющие имитировать все этапы боевого применения объектов ВВСТ. К настоящему времени в тренажерной подготовке как в РФ, так и за рубежом достигнуты существенные результаты. Например, в США за последние 10 лет соотношение времени обучения на тренажерах и в реальных полетах для экипажей неманевренных самолетов составило 8:1. Этого удалось достичь за счет создания высокосовершенных систем имитации визуальной обстановки, применения подвижных кабин, совершенствования программного обеспечения. При этом рост сложности программного обеспечения, количества модулей, включаемых в состав комплексных тренажеров, есть отражение роста сложности имитируемых объектов ВВСТ, комплексов их бортового оборудования. Изучение, диагностирование, овладение методами эксплуатации этих комплексов требует создания компьютерных систем подготовки, включающих процедурные, специализированные, комплексные и оперативно-тактические тренажеры.

Рассмотренный выше экспериментальный стенд SEXTANT в силу своего основного назначения – оценки применимости навигационных технологий – ближе всего к категории процедурных или специализированных тренажеров.

Примером моделирования технологий 3 уровня – технологий материалов, термогазодинамики, аэротермогазодинамики является проект по созданию национального компьютерного кода виртуального перспективного гиперзвукового летательного аппарата (ВГЛА) длительного высотного атмосферного полета. Проект предполагает разработку комплекса моделей и имитационное моделирование следующих компонентов и технологий гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА):

геометрического моделирования ГЛА;

определения аэродинамических и тепловых нагрузок на компоновку перспективных ГЛА и расчета внешних течений;

термогазодинамики внутренних течений с учетом процессов горения;

высокотемпературного потока в ударном слое около ГЛА с интегрированной силовой установкой;

взаимодействия высокотемпературных газов с теплозащитными покрытиями аппарата;

моделирования нестационарных течений в силовой установке, интегрированной с ГЛА, в том числе процесса запуска камеры сгорания;

моделирования неравновесных химических и фотохимических процессов и формирования кластеров и аэрозольных частиц в выхлопных струях гиперзвукового двигателя в целях снижения заметности объекта;

замкнутой модели аэротермогазодинамики ГЛА, позволяющей выполнить прогностическое моделирование нескольких классов проектируемых ГЛА.

Разработчики виртуальной модели ГЛА убеждены, что использование такой высокодетальной модели в едином цикле (проектирование – конструирование – изготовление – наземная и летная отработка) позволит:

сократить объемы наземных стендовых и летных испытаний и связанные с ними риски;

повысить экономическую эффективность и достоверность работ по определению оптимальных интегральных, обликовых и технических решений, необходимых для создания гиперзвуковых систем.

Необходимо отметить, что, несмотря на значительный объем моделируемых процессов и задействуемых вычислительных ресурсов, (отечественные суперкомпьютеры с предельно достижимыми параметрами расчета) ВГЛА может оказаться бесполезной для формирования комплекса бортового оборудования, бортовой системы управления и оценки эффективности применения ГЛА в задаваемых условиях.

Приведенные примеры разработок в области имитационного моделирования показывают, что созданы и применяются высокосоввершенные модели функционирования существующих и перспективных образцов ВВСТ и отдельных систем, блоков модулей, спроектированных для применения в этих образцах ВВСТ. Для работы с этими моделями используются стенды имитационного моделирования и прототипирования, оснащаемые совершенными и дорогостоящими системами визуализации и системами имитации средств управления для конкретного образца ВВСТ, поскольку одной из основных функций таких стендов является функция тренажера. В силу узкой специализации и специфики моделируемых процессов и объектов данные средства ограничены в способности воспроизводить динамику функционирования су-

щественно отличающихся объектов ВВСТ – пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, объектов бронетехники, надводных кораблей и подводных лодок с различными сочетаниями элементов бортовых систем управления.

Кроме того, здесь требуется синтезировать алгоритмы КОИ, решать вопросы интеграции комплексов бортового оборудования, тем более оценивать применимость и эффективность разрабатываемых технологий (особенно технологий нетрадиционного вооружения) в конкретных образцах ВВСТ в задаваемых условиях боевого применения. Необходимы системные исследования по формированию методологии обоснования направлений ВТП в области новейших научно-технических и технологических решений. Основными результатами таких исследований должны стать:

структурно-функциональные схемы интеграции и комплексного применения имитационных моделей и моделирующих комплексов в Вооруженных Силах РФ;

методические и технологические основы формирования и сопровождения базы знаний в интересах моделирования и поддержки принятия решений задач формирования ВТП в области технологий;

математические методы и информационные технологии моделирования необходимой детализации процессов применения современных и перспективных образцов ВВСТ и методик оценки их эффективности при решении боевых задач.

В качестве аппаратной реализации и демонстрации результатов таких исследований может быть предложено создание макета первой очереди (с ограничением количества моделируемых технологий) имитационных экспериментальных стендов для оценки реализуемости и эффективности технологий высокоточного оружия, навигации и радиолокации для перспективных образцов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов.

Для имитации движения могут быть использованы высокоточные модели, загружаемые в стенд-имитатор, включающие модели наземных систем подготовки полетных заданий и начальной выставки компонентов системы управления, модели пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, модели крылатых ракет, модели пусковых установок. Реализуя динамические модели непосредственно на стенде, результаты алго-

ритмов КОИ могут использоваться в качестве входных данных для алгоритмов управления и наведения, обеспечивая тем самым воспроизведение характеристик, близких к характеристикам реальных систем.

Когда пользователю потребуется оценить поведение платформы в реальном масштабе времени, возможно применение в составе стенда модуля генерации траекторий. Это дает возможность, например, для управления летальными аппаратами в зонах, где отсутствует прием GPS, оценить возможности совместной навигации нескольких летательных аппаратов, моделируемых на стенде. Выходные данные сгенерированных траекторий могут быть сохранены для возможности пользователю повторного воспроизведения с использованием других конфигураций стенда-имитатора с другими измерителями и другими алгоритмами.

Заключение

Диапазон выполняемых в настоящее время НИОКР и объем научно-технологического задела, сформированного в последние десятилетия, диктуют необходимость создания инструментария для оперативного оценивания реализуемости и эффективности имеющихся научно-технических и технологических решений для конкретного образца вооружения и конкретного сценария боевых действий. Данное обстоятельство продиктовано, в первую очередь, потребностью в поддержке принятия решения по обоснованию выбора приоритетных направлений развития ВВСТ.

Аналогичные проблемы возникают при проведении исследований по формированию облика сложных систем и комплексов. Количество оцениваемых комбинаций подсистем, модулей и технологий, потенциально реализуемых в этих системах, может составить сотни вариантов. Влияние разрабатываемых технологий может происходить на всех уровнях структурно-технологической схемы – от уровня чувствительных элементов до уровня комплекса бортового оборудования в целом. Учитывая при этом многовариантность боевых задач и сценариев, выполняемых образцами ВВСТ, множественность подходов по созданию информационного и программно-алгоритмического обеспечения, решение задачи оценки реализуемости технологий на основе аппарата экспертных оценок становится практически неподъемным.

Одним из путей разрешения сложившегося в области оценки научно-технического и технологического задела может стать активно применяемое научно-исследовательскими организациями ОПК РФ и аналогичными структурами за рубежом при разработке, создании, испытаниях и эксплуатации (боевом применении) образцов ВВСТ имитационное моделирование. Имитационное моделирование осуществляется на основе моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения, в том числе комплексных тренажеров подготовки операторов объектов ВВСТ всех видов базирования.

К достоинствам такого подхода к оценке применимости разрабатываемых технологий в перспективных образцах ВВСТ относятся:

сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий. При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;

наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов ВВСТ с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий и этапом формирования научно-технического задела;

сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел развития ВВСТ;

возможность непрерывного мониторинга всех фаз проектирования и создания перспективных систем и комплексов;

возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

Необходимы системные исследования по формированию методологии, в том числе организационных схем и информационно-аналитических подходов, к обоснованию направлений ВТП в области новейших научно-технических и технологических решений. Основными результатами таких исследований должны стать:

структурно-функциональные схемы интеграции и комплексного применения моделей и моделирующих комплексов в Вооруженных Силах РФ;

методические и технологические основы формирования и сопровождения базы знаний в интересах моделирования и поддержки принятия решений задач формирования ВТП в области технологий;

математические методы и информационные технологии моделирования необходимой детализации процессов применения современных и перспективных образцов ВВСТ и методик оценки их эффективности при решении боевых задач.

В качестве аппаратной реализации и демонстрации результатов таких исследований может стать создание макета первой очереди (с ограничением количества моделируемых технологий) имитационных экспериментальных стендов для оценки реализуемости и эффективности технологий высокоточного оружия, навигации и радиолокации для перспективных образцов пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов [5].

Список использованных источников

1. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Граница, 2007. – 408 с.
2. Буренок В.М., Косенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. М.: Граница, 2007. – 720 с.
3. Шеннон Р.Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. – 418 с.
4. Betts K.M., DeKock B.K., Reed D.L., Gewehr J., Bezanson D. SEXTANT: A High-Fidelity Navigation Simulation Testbed // Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008). Savannah, GA. September 2008. – P. 2732-2739.
5. Воронцов П.С., Брайткрайц С.Г. Роль и задачи имитационного моделирования в военно-научном сопровождении НИОКР по созданию авиационных информационно-управляющих комплексов // Вооружение и экономика. 2022. №2(60). – С. 72-83.