

УДК 004.91

В. А. Додонов

Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

Организация структуры компьютерного комплексного имитационного моделирующего стенда

Рассмотрены вопросы организации структуры компьютерного комплексного имитационного моделирующего стенда для отработки структуры и программно-алгоритмического обеспечения опытных образцов автоматизированных систем обработки информации и управления.

Ключевые слова: *испытания, имитация, моделирование, стенд, структура.*

Условием достижения высоких тактико-технических характеристик (ТТХ) сложных технических систем (СТС) является повышение эффективности и качества всей деятельности, направленной на создание и использование отвечающих современным требованиям образцов СТС, в том числе и бортовых автоматизированных систем обработки информации и управления (АСОИУ), представляющих собой взаимосвязанную совокупность радиоэлектронных, радиолокационных и вычислительных средств.

К сложным АСОИУ, как системам реального времени, предъявляются жесткие требования к временным интервалам выполнения измерений (съема информации), их диагностики и обработки, выработке необходимой новой информации (управлению). АСОИУ могут определяться сложной иерархической структурой и состоять из десятков и более подсистем.

К таким системам можно отнести, в частности, практически любые комплексы, содержащие в качестве измерительного средства радиолокационные станции (РЛС). Их разработка, проведение необходимых исследований, макетирование, создание опытных образцов, наладка производства серийных изделий, в которых задействованы большие коллективы исполнителей, требует больших затрат.

Качественные характеристики разрабатываемых и внедряемых АСОИУ стоят в прямой зависимости от этих затрат. Профессиональность разработчиков АСОИУ определяется поиском уменьшения затрат не только без потери качества,

но и с возможностью его повышения. Этот поиск (возможно) эволюционным путем привел к созданию комплексных имитационных моделирующих стендов (КИМС).

КИМС является: средством ускорения работ по разработке, отладке, внедрению системы; инструментом сокращения материальных затрат; средством формирования параметров модификации системы; инструментарием повышения качественных характеристик АСОИУ.

Накопленный в отечественной и зарубежной практике опыт привел в последние годы к осознанию ведущей роли испытания в деле создания АСОИУ. Испытания АСОИУ — это необходимый элемент процесса разработки опытных образцов изделий, позволяющий определить соответствие результата работ заданным тактико-техническим требованиям и оценить пригодность разработанной системы для практического использования. От эффективности испытаний зависит качество поступающих в народное хозяйство АСОИУ и уровень их готовности к использованию.

Результаты испытаний могут быть использованы для обоснования решений по принятию образцов в народное хозяйство, при планировании эксплуатации и применения АСОИУ. От их достоверности зависит качество эксплуатации и эффективного планирования использования системы, а также своевременность принятия решений на доработку, модернизацию, создание новых образцов системы.

При сложившейся практике испытания сопутствуют всем этапам разработки, производства и эксплуатации АСОИУ и в первую очередь определяют уровень затрат на их создание и использование, а также длительность отработки. Так, например, для ряда СТС военного назначения затраты на проведение полигонных испытаний составляют 40–55 % суммарных расходов на разработку, а с учетом предварительных испытаний достигают 70 %, в то время как затраты на эскизное проектирование не превышают 6 %, а расходы на техническое и рабочее проектирование 6–19 %.

Общие расходы на все виды испытаний серийной продукции превышают 20–25 % суммарных затрат на создание, введение в строй и эксплуатацию СТС. При этом наблюдается тенденция к увеличению общей доли материальных затрат и времени на проведение испытаний. Это определяется усложнением образцов, расширением круга решаемых ими задач и разнообразием условий применения, что ведет к увеличению объема и удорожанию испытаний.

Перспективные разработки СТС включают в себя все виды работ, направленных на создание программно-технических средств для экспериментальной проверки их ТТХ. Проектирование этих средств ориентировано на создание экспериментальных образцов для испытаний, а не использование их в народном хозяйстве.

При заводских испытаниях и испытаниях на полигонах предварительные проверки функционирования АСОИУ в настоящее время принято целесообразным производить с помощью КИМСа. С его помощью допускается также проводить оценку характеристик АСОИУ, для проверки которых по объективным причинам не могут быть обеспечены требуемые условия (проверка пропускной способности системы, организация внешней помеховой и объектовой обстановки и др.).

КИМС — это, по существу, система, в большей своей части дублирующая разрабатываемый и внедряемый образец объекта, среда функционирования для

которого подменена аппаратно-программной моделью. Например, средой функционирования для КИМС РЛС является пространство координат математических моделей различных целей, пространство параметров математических моделей зондирующего и отраженного сигналов, различного рода шумов и помех. КИМС обычно используются для ускорения разработки, отладки и внедрения СТС. Оптимизация состава КИМС сводится к его компьютеризации.

Формальное определение КИМСа дано в работе [2]:

$$\text{КИМС} = (\text{Модель среды}) \cup (\text{Обмен}) \cup (\text{Макет объекта}),$$

где символ \cup — оператор объединения.

Макет объекта — аппаратно-программная реализация части объекта или объекта в целом, отвечающая требованиям: функционального соответствия исходной системе, соответствия используемых компонент, возможности реализации с критерием меньших затрат (допустимы и другие критерии). Естественно, в качестве макета может использоваться как образец объекта, так и объект, имеющий статус штатного.

Модель среды — модель функционирования той части объекта или системы, которая не критична для разработчика и допускает любые решения в ее реализации при сохранении параметров входа-выхода компонент.

Обмен — аппаратно-программная реализация системы КИМСа, обеспечивающая параметрическую связь Макет и Модель объекта. В качестве системы «Обмен» может быть использована аппаратура штатного взаимодействия.

Все составляющие указанного выражения — многопараметрические функции одного класса, т.е. любая составляющая многопараметрической функции КИМС может быть, в свою очередь, представлена многопараметрической функцией КИМС со своим критерием эффективности.

Для большинства СТС критерий эффективности создаваемых КИМС можно определить отношением объема программной реализации к объему аппаратно-программной реализации.

В этом случае КИМС, полностью реализуемый с помощью персональных компьютеров и компьютерных технологий, будет обладать 100 % эффективностью и имеет определение: компьютерный комплексный имитационный моделирующий стенд.

КИМС для отработки АСОИУ должен представлять собой полунатурную модель «Внешняя обстановка — РЛС», в которой внешняя обстановка реализуется с помощью физико-математической модели, а РЛС представлена в натурном виде. Такая модель позволяет решать следующие задачи:

— оценить те ТТХ АСОИУ, которые невозможно оценить при натуральных испытаниях из-за сложности и дороговизны;

— значительно уменьшить затраты на натурные испытания АСОИУ путем их комбинации с испытаниями АСОИУ с помощью КИМС.

В настоящей работе рассматриваются вопросы организации структуры КИМС для отработки функционирования и программно-алгоритмического обеспечения опытных образцов АСОИУ в полунатурных условиях.

Назначение и основные функции комплексного имитационного моделирующего стенда

КИМС предназначен для проведения конструкторских (стендовых) испытаний опытных (экспериментальных) образцов бортовых АСОИУ, а также автономных испытаний (отладки) функциональных программ информационно-вычислительного комплекса (ИВК), входящего в состав системы.

Необходимость разработки и применения КИМС основана на том, что для проведения стендовых испытаний создаваемых образцов АСОИУ и ее модулей (подсистем) и проведения автономных испытаний программно-алгоритмического обеспечения информационно-вычислительного комплекса системы требуется имитировать входные потоки радиолокационной информации и регистрировать результаты ее обработки. При этом необходимо, чтобы имитируемые входные потоки информации наиболее полно соответствовали реальным входным потокам [1–4].

Это требование можно выполнить лишь путем применения программных моделей, имитирующих внешнюю среду и работу отдельных устройств АСОИУ, а также программного управления имитаторами входной информации. При этом важно, чтобы вся имитируемая информация была распределена по реальным физическим каналам и временным тактовым интервалам, а также соответствовала заданному (ожидаемому) диапазону условий внешней среды [5–7].

Применение КИМС позволяет эффективно решать широкий спектр задач, возникающих при стендовой отработке и проведении испытаний опытных образцов АСОИУ.

1. Стендовые испытания опытных образцов АСОИУ, включающие в себя:
 - имитацию входных потоков информации;
 - программное управление работой имитаторов радиолокационной информации;
 - регистрацию и статистическую обработку результатов, получаемых при обработке имитируемой входной информации в информационно-вычислительном комплексе системы;
 - экспериментальную оценку тактико-технических характеристик испытуемого опытного образца АСОИУ.
2. Автономные испытания функциональных программ информационно-вычислительного комплекса системы:
 - статический анализ программ и динамическое тестирование;
 - оценка надежности программного обеспечения.
3. Комплексная стыковка отдельных приборов АСОИУ с информационно-вычислительным комплексом системы, отработка принципов взаимодействия и алгоритмов функционирования.
4. Доработка программ информационно-вычислительного комплекса системы по результатам стендовых испытаний.
5. Регистрация основных параметров реальных входных и выходных потоков радиолокационной информации при проведении стендовых испытаний опытного образца АСОИУ.

6. Статистическая обработка, отображение и документирование результатов испытаний опытного образца АСОИУ.

В соответствии со своим назначением КИМС обеспечивает:

- вычисление значений параметров имитируемого входного потока информации;
- передачу вычисленных значений параметров имитируемого потока информации на вход имитаторов и управление процессом передачи указанных данных;
- возможность варьирования значений параметров имитируемого входного потока информации;
- ввод в оперативную память персональной ЭВМ, входящей в состав КИМС, результатов обработанной в информационно-вычислительном комплексе информации;
- статистическую обработку данных, получаемых в процессе обработки в информационно-вычислительном комплексе входных потоков информации;
- статический анализ машинных программ информационно-вычислительного комплекса системы;
- формирование и ввод в оперативную память (ОП) штатных ЭВМ модулей АСОИУ наборов текстовых данных, необходимых для динамических испытаний программ информационно-вычислительного комплекса;
- имитацию работы отдельных устройств АСОИУ, являющихся абонентами ЭВМ информационно-вычислительного комплекса;
- считывание из памяти ЭВМ информационно-вычислительного комплекса машинных программ и запоминание их во внешней памяти;
- ввод в память ЭВМ информационно-вычислительного комплекса системы модифицируемых участков машинных программ;
- печать таблиц информации;
- регистрацию основных параметров входных и выходных потоков информации;
- статистическую обработку результатов испытаний опытного образца АСОИУ и документирование результатов обработки;
- многократное воспроизведение условий, при которых ошибки в выходных параметрах испытываемого образца АСОИУ превышают допустимые пределы.

Организация структуры комплексного имитационного моделирующего стенда и его сопряжения с АСОИУ

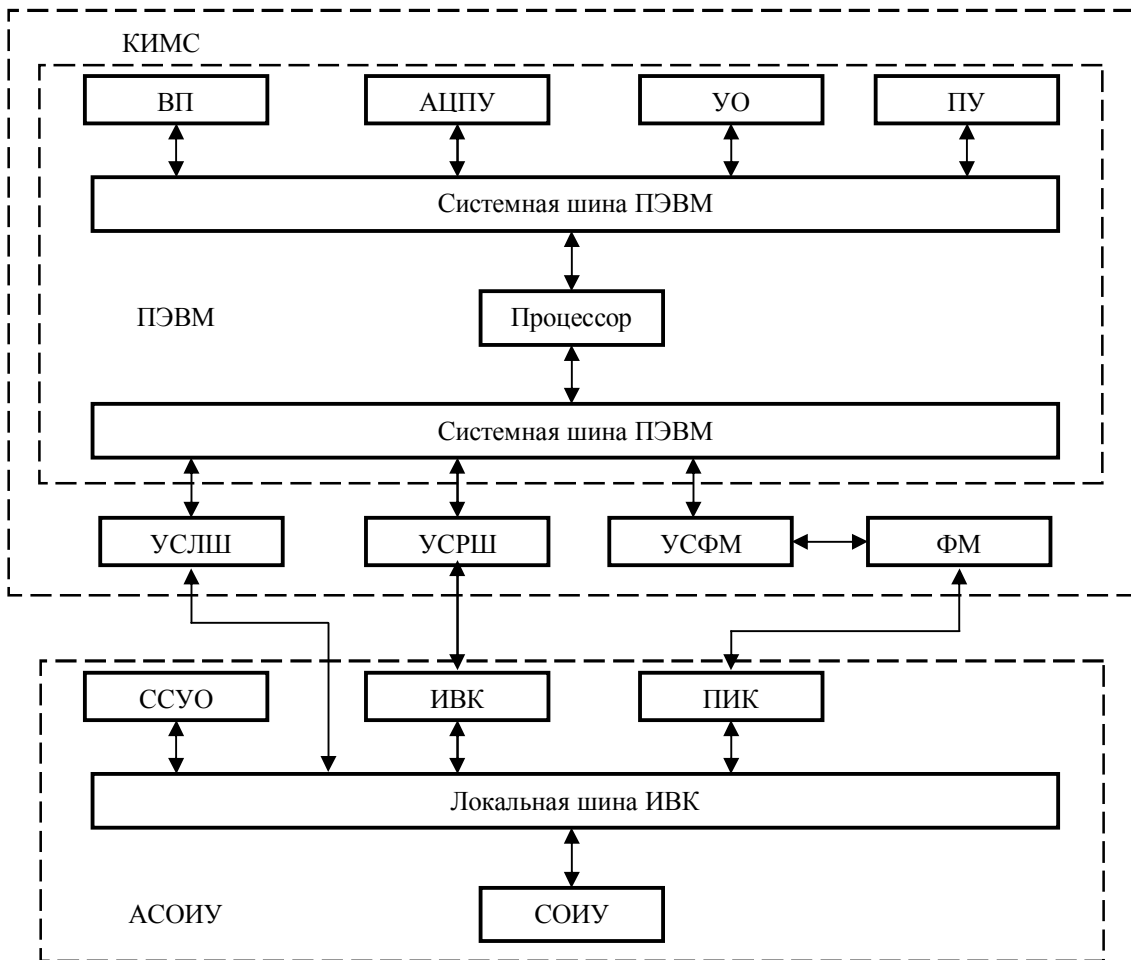
КИМС работают на базе ПЭВМ, в состав которой входят:

- ПЭВМ, совместимая с ЭВМ информационно-вычислительного комплекса на уровне системы команд;
- пульт управления (ПУ);
- устройство отображения (УО) — дисплей;
- алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ);
- внешняя память (ВП).

Кроме ПЭВМ, в состав КИМС входят физическая модель (ФМ), а также следующие устройства сопряжения с АСОИУ:

- устройство сопряжения с физической моделью (УСФМ);
- устройство сопряжения с локальной шиной (УСЛШ);
- устройство сопряжения с резидентными шинами (УСРШ) ЭВМ, входящих в состав информационно-вычислительного комплекса системы.

Упрощенная структурная схема КИМС и его сопряжения с испытуемой АСОИУ приведены на рисунке.



Упрощенная структурная схема КИМС и его сопряжения с испытуемой АСОИУ

Изображенная на рисунке упрощенная структурная схема КИМС и его сопряжения с испытуемой АСОИУ представляет собой объединение с помощью локальной шины информационно-вычислительного комплекса четырех подсистем:

- приемно-измерительного комплекса (ПИК);
- информационно-вычислительного комплекса (ИВК);
- системы отображения информации и управления (СОИУ);
- системы сопряжения с управляемым объектом (ССУО).

Физическая модель представляет собой совокупность устройств имитаторов радиолокационной информации в различных диапазонах работы АСОИУ и

имитаторов помех. Имитируемая информация с выходов имитаторов в приемо-измерительный комплекс передается на промежуточной частоте (ПЧ) по ПЧ-каналу.

Устройство сопряжения с физической моделью предназначено для выполнения следующих функций:

— запоминания вычисляемых программой имитации внешней среды (обстановки) массивов данных $\{(D, \beta, P)_i^j\}$, определяющих положение j -го имитируемого объекта в i -й момент времени в полярной системе координат: D — дальность «объект – РЛС АСОИУ», β — угол места, P — пеленг объекта;

— запоминания вычисляемых программой управления работой УСФМ массивов величин $\{t_i^j\}$, где t_i^j — i -й момент времени относительно момента начала имитации t_0 , когда луч РЛС будет направлен на j -й объект;

— синхронизации передачи величин $(D, \beta, P)_i^j$ на вход физической модели с помощью величин $\{t_i^j\}$.

Устройство сопряжения с локальной шиной информационно-вычислительного комплекса системы предназначено для обеспечения доступа со стороны КИМС к информации и сигналам управления, передаваемыми между составными подсистемами (модулями) АСОИУ.

Устройство сопряжения с резидентными шинами ЭВМ, входящими в состав информационно-вычислительного комплекса, предназначено для обеспечения доступа со стороны КИМС к полям памяти и внутренним регистрам ЭВМ информационно-вычислительного комплекса системы.

ПЭВМ, входящая в состав КИМС, выбирается исходя из следующих требований:

— процессор ПЭВМ должен иметь систему команд, идентичную системе команд процессоров, входящих в состав информационно-вычислительного комплекса системы;

— подсистема ввода-вывода операционной системы ПЭВМ должна иметь возможность расширения путем добавления драйверов УСФМ, УСЛШ и УСРШ;

— системная шина ПЭВМ должна иметь незадействованные порты ввода-вывода для подключения устройств сопряжения с модулями АСОИУ и физической модели;

— емкость внешней памяти ПЭВМ должна быть не менее 30 Мбайт.

Параметры быстродействия и памяти современных персональных компьютеров во многих случаях обеспечивают имитацию исследуемых и разрабатываемых систем в реальном масштабе времени.

Программное обеспечение комплексного имитационного моделирующего стенда

Программное обеспечение КИМС представляет собой комплекс прикладных программ, работающих под управлением операционной системы ПЭВМ, совместимой с операционной системой ЭВМ информационно-вычислительного ком-

плекса, подсистема ввода-вывода которой расширена путем добавления в нее драйверов УСФМ, УСЛШ и УСРШ.

Комплекс прикладных программ КИМС включает в себя следующие программы:

1) программу выбора конкретного варианта имитируемой внешней среды, предназначенную для вывода с пульта управления ПЭВМ, преобразования и запоминания исходных данных для программы имитации входного потока информации. Исходными данными для программы имитации входного потока информации являются:

- количество имитируемых объектов;
- координаты $(D_i^0, \beta_i^0, \Pi_i^0)$ каждого объекта в начальный момент времени t_0 в полярной системе координат;
- величины $H_i^1, H_i^2, \dots, H_i^N$, определяющие высоту полета каждого из имитируемых объектов в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N относительно времени t_0 ;
- величины $(V, K)_i^1, (V, K)_i^2, \dots, (V, K)_i^N$, определяющие скорость и курс i -го объекта в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n ;

2) программу управления имитаторами физической модели, предназначенную для вычисления массивов величины $\{t_i^N\}$, определяющих для каждого имитируемого объекта моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N относительно t_0 , когда луч РЛС АСОИУ будет направлен на него. Исходными данными для нее являются:

- входные данные управления лучом РЛС АСОИУ (для активной РЛС с электронным сканированием луча);
- величины $(D, \beta, \Pi)_i^j$, определяющие положение j -го имитируемого объекта в момент времени t_i в полярной системе координат;

3) программу имитации входных потоков информации, предназначенную для вычисления величин, определяющих соответственно дальность до j -го объекта, угол места, пеленг объекта, высоту, скорость и курс j -го объекта в момент времени t соответственно:

$$\begin{aligned} D_i^j &= f_1(D_0^j, t), \\ \beta_i^j &= f_2(\beta_0^j, t), \\ \Pi_i^j &= f_3(\Pi_0^j, t), \\ H_i^j &= (H_i^j, t), \\ V_i^j &= (V_i^j, t), \\ K_i^j &= (K_i^j, t). \end{aligned}$$

4) программы статического контроля машинных программ информационно-вычислительного комплекса;

5) программы динамических испытаний программ информационно-вычислительного комплекса;

6) набор программ, предназначенных для комплексной стыковки отдельных устройств АСОИУ, имитирующих выдачу с информационно-вычислительного комплекса в стыкуемые устройства тестовой информации и управляющих сигналов;

7) набор программ, предназначенных для проведения доработок программ информационно-вычислительного комплекса по результатам полигонных (натурных) испытаний;

8) программы статистической обработки результатов испытаний АСОИУ.

Испытание программ вторичной обработки радиолокационной информации

Испытания программного обеспечения информационно-вычислительного комплекса опытного образца системы проводятся с целью определения значений показателей качества разрабатываемых программ и выявления программных ошибок.

На этапе стендовых испытаний разрабатываемого опытного образца системы автономные испытания программного обеспечения проводятся после стыковки приборов и устройств модулей АСОИУ и комплексной отладки программ.

На этапе полигонных натурных испытаний системы — после проведения доработок программ по результатам испытаний.

Существуют два вида испытаний программ: статический анализ и динамическое тестирование.

Статический анализ разрабатываемых программ проводится с целью определения значений следующих показателей качества испытываемых программ: корректность; правильность; математическое ожидание времени выполнения программы; объем постоянной памяти, необходимой для запоминания программы и констант, используемых программой.

При статическом анализе для каждой из программ, входящих в состав испытываемого программного обеспечения, выполняется следующий объем проверок:

— проверка соответствия испытываемой программы, записанной в запоминающем устройстве ЭВМ, тексту программы, записанной в конструкторской документации;

— контроль структуры исследуемой программы с целью выявления «тупиков» и неиспользуемых ветвей;

— оценка времени, затрачиваемого процессором на выполнение исследуемой программы;

— определение количества ячеек памяти, необходимых для запоминания испытываемой программы и констант;

— определение количества ячеек оперативной памяти, используемых программой;

— контроль правильности распределения оперативной памяти между программами, выполняющимися в мультипрограммном режиме.

Динамические испытания программного обеспечения проводятся с целью определения значений функциональных показателей качества — точности, надежности и устойчивости к искажающим воздействиям.

Динамические испытания включают в себя:

- комплексное тестирование программного обеспечения;
- автономное тестирование испытуемых программ.

Комплексное тестирование ПО осуществляется в процессе проведения стендовых испытаний опытного образца АСОИУ, когда на вход ПИК системы поступают имитируемые или реальные входные потоки информации. При этом значения функциональных показателей качества программного обеспечения определяются путем статического анализа результатов обработки входных потоков информации, по количеству срывов правильного функционирования системы из-за программных ошибок, по реакции системы на возникающие в ходе испытаний сбои во входных потоках информации и отказы устройств системы.

Автономное тестирование осуществляется с помощью разработанных для каждой испытуемой программы наборов тестовых данных. При проведении автономного тестирования программ наборы тестовых данных считываются с внешней памяти ПЭВМ, вводятся в оперативную память ЭВМ системы, в которой размещена испытуемая программа, и инициируется начало ее выполнения.

В процессе выполнения испытуемой программы системы программами, входящими в состав программного обеспечения КИМС, имитируется функционирование отдельных устройств системы, с которыми взаимодействует программа. После выполнения испытуемой программы осуществляется вывод на печать результатов, вырабатываемых программой, содержимого заданных участков памяти и количества использования отдельных ветвей программы.

Для определения количества использования ветвей программы при каждом прогоне в испытуемую программу вводятся специальные программы, фиксирующие использование каждой ветви. Автономное тестирование испытуемой программы считается завершенным, если в результате многократного прогона ее с различными наборами тестовых данных были задействованы все ее ветви.

Значения функциональных показателей качества испытуемой программы определяется путем статистического анализа результатов многократного прогона испытуемой программы.

Выводы

Предложена и реализована структура компьютерного комплексного имитационного моделирующего стенда для отработки аппаратуры отдельных модулей системы, системы в целом и ее программно-алгоритмического обеспечения при проведении конструкторских (стендовых) испытаний опытных образцов АСОИУ.

КИМС, используемый для отладки аппаратуры и различных комплексов программ РЛС, состоит (по определению) из специализированных вычислительных средств и блоков специфической аналоговой аппаратуры.

Многообразие математического обеспечения КИМС повышает производительность труда исполнителей, позволяет вести отладку программ в разных режимах, сокращает сроки отладки в целом, позволяет вести документирование и анализ результатов практически с любой степенью детализации, как в процессе исполнения программ, так и по результатам записи необходимой информации.

Применение КИМС позволяет эффективно решать широкий спектр задач, возникающих при стендовой отработке и проведении испытаний АСОИУ: стендовые испытания АСОИУ; автономные испытания функциональных программ информационно-вычислительного комплекса; комплексную стыковку отдельных приборов АСОИУ с информационно-вычислительным комплексом, отработку принципов взаимодействия и алгоритмов функционирования; доработку программ информационно-вычислительного комплекса по результатам стендовых испытаний; регистрацию основных параметров реальных входных и выходных потоков радиолокационной информации при проведении стендовых испытаний АСОИУ; статистическую обработку, отображение и документирование результатов испытаний опытного образца АСОИУ и подготовку данных для разработки приемосдаточных актов.

При создании КИМСа затраты на производство увеличиваются почти вдвое, но появляется возможность: расширения фронта работ на некоторых этапах за счет параллельного ведения работ различных групп специалистов и сокращения сроков выпуска системы; диагностики и оценки работы системы в критических режимах и получения информации для будущей модернизации или построения новой, более качественной системы, которую другими способами получить практически невозможно; существенного сокращения затрат на проведение натурных испытаний; быстрой замены или введения новых отдельных компонент системы любого уровня сложности (компьютеры) и оценки предпринятого действия как с точки зрения затрат, так и сточки зрения качества.

Очевидна возможность тиражирования систем КИМС средствами персональных компьютеров и компьютерных технологий массового спроса, включая возможность использования локальных сетей.

1. Додонов А.Г., Путьтин В.Г., Валетчик В.А. Организация структуры моделирующего стенда для отработки функционирования бортовых радиолокационных комплексов // Реестрация, зберігання і оброб. даних. — 2006. — Т. 8, № 2. — С. 61–71.
2. Вопросы перспективной радиолокации, коллективная монография / Под редакцией А.В. Соколова. — М.: Радиотехника, 2003. — 197 с.
3. Основы моделирования сложных систем: Учебное пособие для студентов ВУЗов / Под общ. ред. И.В.Кузьмина. — К.: Вища школа, 1981. — 360 с.
4. Бусленко Н.Н. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1968. — 356 с.
5. Моделирование в радиолокации / Леонов А.И., Васенев В.Н., Гайдуков Ю.И. и др. / Под ред. А.И.Леонова. — М.: Сов. радио, 1979. — 264 с.
6. Шаракианэ А.С., Железнов И.Г. Испытания сложных систем. — М.: Высшая школа, 1974. — 184 с.
7. Испытания РЛС (оценка характеристик) / Леонов А.И., Леонов С.А. и др. / Под ред. А.И.Леонова. — М.: Радио и связь, 1990. — 208 с.
8. Натурный эксперимент / Баклашов Н.И., Белюков А.Н. и др. / Под ред. Н.И. Баклашова. — М.: Радио и связь, 1982. — 304 с.

Поступила в редакцию 21.05.2007