

УДК 621.03

В.С. Харченко<sup>1</sup>, Н.П. Бородавка<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ХГАКУ ім. Н.Е.Жуковського “ХАИ”, Україна

<sup>2</sup>НТ СКБ “ПОЛИСВИТ” ГНПП “Об’єднання Коммунар”, Україна

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ЖИВУЧИХ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

*Предложены основная концепция и ключевые составляющие информационной технологии (ИТ) поддержки определения компонентных функциональных структур (КФС) живучих авиационных бортовых информационно-управляющих систем (БИУС). Разработаны схема взаимодействия информационных потоков, процессов, инструментальных средств (ИС) ИТ и архитектура ИС.*

*бортовая система, живучесть, функциональная структура, информационная технология*

### Введение

Бортовые информационно-управляющие системы являются, как правило, системами критического применения. Поэтому они должны обладать свойствами надежности (безотказности) и живучести, определяющими совместно свойство безопасности их функционирования.

Надежность БИУС обеспечивается путем предотвращения отказов и придания системе свойства отказоустойчивости. Однако по техническим и экономическим причинам нельзя гарантировать полное сохранение работоспособности в процессе функционирования. Под живучестью, также обеспечиваемой свойством отказоустойчивости, понимается способность сохранять при возникновении отказов ограниченную работоспособность с обеспечением безопасности (деградация функционирования).

Отказоустойчивость, в свою очередь, обеспечивается введением избыточности в различных сочетаниях. Однако введение избыточности в БИУС может быть ограничено или невозможно по ряду причин, в первую очередь, вследствие ограничений по массогабаритным показателям и энергопотреблению.

Современные БИУС, как правило, являются распределенными и многофункциональными системами. К таким системам правомерно применять понятие компонентной функциональной структуры (КФС), представляющей распределение выполняемых системой функций по компонентам (аппаратные и программные составляющие БИУС, их объединения).

В [1, 2] было предложено использовать КФС как одно из средств повышения живучести БИУС, предваряющее и тем самым дополняющее, а в ряде случаев уменьшающее введение избыточности. Методы анализа живучести БИУС с использованием КФС описаны [2, 3], а формирования КФС живучих БИУС – в [4].

Метод анализа живучести БИУС включает:

– единое формализованное представление БИУС для построения моделей ее функционирования; формализованное/это представление отображает

моделируемые элементы – компоненты, связи между ними и данные (информацию), формируемые в процессе функционирования;

– построение моделей функционирования БИУС разных типов (детерминированных, вероятностных, имитационных); моделирование отражает формирование данных в процессе функционирования;

– определение по результатам моделирования количественных оценок живучести анализируемой БИУС;

– принятие решения о целесообразности использования той или иной КФС анализируемой БИУС с целью повышения ее живучести.

Метод формирования КФС живучих БИУС основан на принципах, сформулированных так, чтобы минимизировать последствия невыполнения функций БИУС при отказах. Применение этого метода требует анализа тяжести последствий невыполнения функций и формирования множеств функций в соответствии с результатами такого анализа.

Процесс разработки БИУС в целом и использование указанных методов многоаспектны и трудоемки. Поэтому важным является создание ИТ, поддерживающих разработку живучих БИУС в части определения их КФС.

**Целью данной статьи** является определение общей концепции и элементов ИТ поддержки определения КФС живучих БИУС.

### 1. ИТ поддержки определения КФС БИУС

Конкретная ИТ представляет собой состав компонентов, имеет структуру и определяется в результате компиляции и синтеза базовых технологических операций, специализированных технологий и средств реализации. Базовыми технологическими операциями являются: извлечение, транспортирование, обработка, хранение, представление и использование информации. К специализированным технологиям относятся базовые ИТ, используемые в конкретных технологиях в виде отдельной компоненты (такие, как технологии защиты информации, искусственного

интеллекта), и технологии, отражающие специфику конкретной области (управление и планирование в промышленности и экономике, образование, автоматизированное проектирование). Средства реализации ИТ, или ИС, делятся на методические, информационные, математические, алгоритмические, технические и программные [5]. ИТ поддержки определения КФС системы по своему назначению относится к ИТ автоматизированного проектирования. Эта технология предназначена для использования на единственном этапе разработки БИУС, при выполнении которого задействовано малое количество разработчиков и результаты которого не используются на других этапах разработки. Поэтому ключевыми составляющими являются конкретные информационные потоки и их преобразование (т.е. процесс преобразования информации), а также математические средства (используемый математический аппарат) и соответствующие программные средства. Эти компоненты имеют непосредственное отношение к определению КФС. Остальные составляющие относятся к созданию ИТ как таковой, не требуют согласования со всеми этапами разработки БИУС, при необходимости определяются совместно разработчиками ИТ и разработчиками КФС и далее не рассматриваются.

## 2. Схема взаимодействия информационных потоков, процессов и ИС

На рис. 1 представлена схема взаимодействия информационных потоков, процессов и ИС ИТ поддержки определения КФС БИУС в соответствии с разработанными методами анализа живучести и

формирования КФС. Исходными данными этапов определения КФС являются: требования технического задания (ТЗ), результаты предыдущих разработок, система оценок живучести БИУС, экономические и временные факторы. Такие составляющие БИУС, как архитектура и используемая элементная база, могут быть и исходными данными для определения КФС (задаваемыми) и следствием выбранной КФС (свободно определяемыми). Исходными данными они являются в случаях, когда:

- определяются требованиями ТЗ; требования могут быть как прямыми, например, определяющими количество компонентов БИУС, обязывающими использовать ту или иную элементную базу, так и косвенными, определяющими конструктивные решения и выбор элементной базы (массо-габаритные, энергопотребления, функциональные, надежность);
- используются как удовлетворяющие всем требованиям и проверенные решения, полученные по результатам предыдущих разработок, как собственных, так и других разработчиков;
- определяются с учетом неудачных решений в предыдущих разработках с целью недопущения возникновения уже известных проблем.

Архитектура БИУС и используемая элементная база являются следствием выбранной КФС, если отсутствуют ограничения, накладываемые ТЗ или известными решениями. Каждая из этих составляющих одновременно может быть частично задаваемой, а частично свободно определяемой.

Требования к живучести БИУС определяются требованиями ТЗ, задаваемыми архитектурой и элементной базой, на основании опыта предыдущих

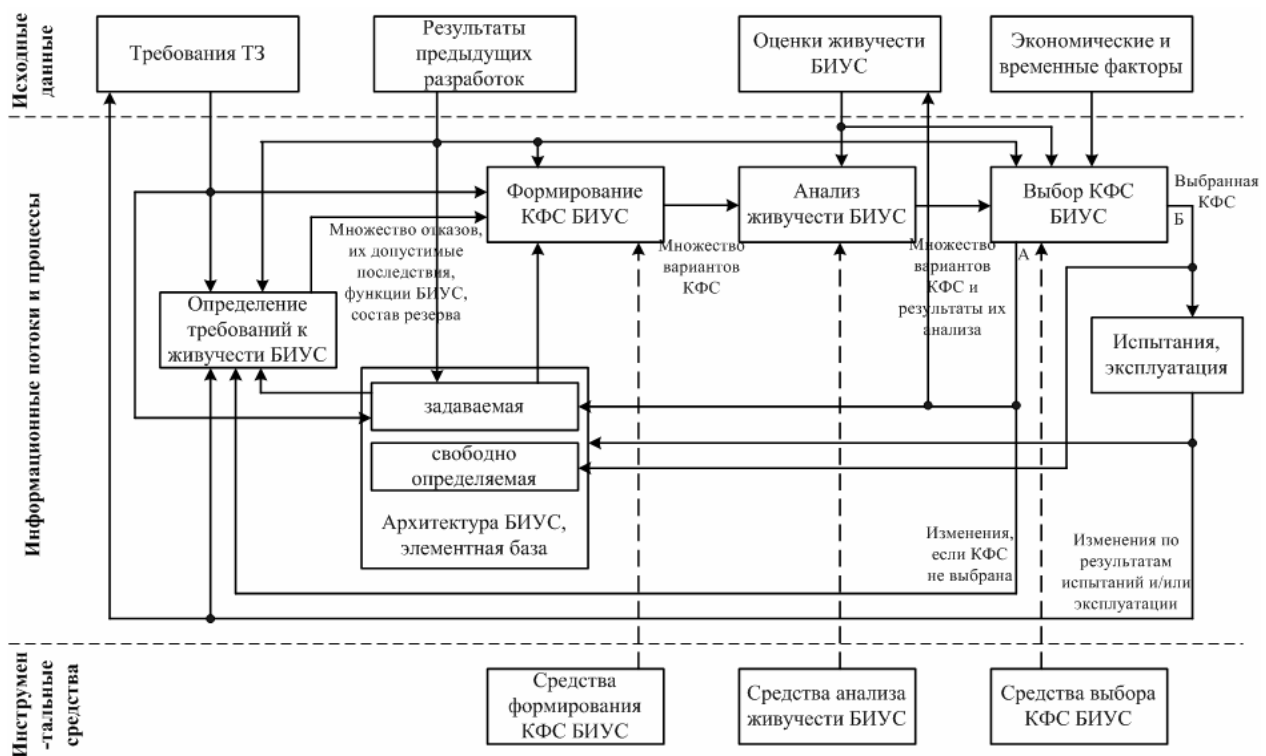


Рис. 1. Схема взаимодействия информационных потоков, процессов и инструментальных средств информационной технологии поддержки определения КФС БИУС

разработок. Результатом выполнения этого этапа и исходными данными для формирования КФС являются: множество отказов, их допустимые последствия, множество функций БИУС, включая качественный и количественный состав резерва.

Множество формируемых вариантов КФС, как и требования к живучести БИУС, может ограничиваться требованиями ТЗ, задаваемыми архитектурой и элементной базой (например, возможностями процессора, объемом ПЗУ, ОЗУ и т.п.), решениями предыдущих разработок. Для анализа живучести БИУС со сформированными КФС должна быть определена система оценок живучести БИУС – приоритет и допустимые диапазоны оценок живучести. При выборе КФС, кроме результатов анализа, могут учитываться экономические и временные факторы – стоимость и продолжительность реализации выбранной КФС. Определяющими здесь являются:

– примененность, когда КФС уже была реализована в предыдущих разработках; это не только уменьшает стоимость и продолжительность разработки, но и в значительной степени предотвращает ошибки проектирования;

– квалификация разработчиков (смогут ли они в установленные сроки и должным образом реализовать выбранную КФС и провести предварительные испытания);

– уровень производства предприятия-изготовителя опытного образца БИУС, реализующего выбранную КФС, так как изготовление аппаратных средств требует владения теми или иными технологиями промышленного производства и квалификации работников;

4) в случае свободно определяемой элементной базы – принципиальная возможность, стоимость и сроки ее приобретения.

Частным результатом этапа выбора КФС может быть ситуация, когда не выбрана ни одна КФС (на рис. 1 обозначено как “А”). В этом случае должны быть изменены требования к живучести БИУС, оценкам живучести, задаваемой части архитектуры БИУС и элементной базы. По результатам испытаний и/или эксплуатации (на рис. 1 обозначено как “Б”) могут быть изменены требования ТЗ, требования к живучести БИУС, архитектуре и элементной базе.

### 3. Математические и программные ИС

Математические и программные ИС применяются на этапах формирования, анализа и выбора КФС. В качестве ИС могут быть использованы существующие системы компьютерной математики, обладающие встроенными средствами программирования. Такие системы позволяют создавать свои ИС с использованием всех имеющихся возможностей для представления КФС и другой необходимой информации в виде математических конструкций и их обработки. На всех этапах определения КФС требуются простые математические конструкции и действия с ними, за исключением, может быть, того

случая, когда выполняется имитационное моделирование с использованием сетей Петри [3]. Поэтому в целом для разработки ИС подходят практически все распространенные системы компьютерной математики – Mathcad, Maple, Mathematica, MATLAB и др. Сравнительные характеристики таких систем приведены, например, в [6, 7]. В любом случае требуется самостоятельная разработка ИС, а этапы определения КФС независимы друг от друга в смысле того, каким образом получена входная информация каждого из них. В ИС этапа формирования КФС может быть включена функция определения групп объединений функций по последствиям, что позволит использовать другие, нежели экспоненциальный, законы распределения вероятности отказов.

ИС для имитационного моделирования с использованием сетей Петри требуют отдельного рассмотрения. Системы компьютерной математики общего назначения не предоставляют никаких возможностей работы с сетями Петри. Существуют специальные ИС для работы с этим математическим аппаратом, как универсальные, предоставляющие широкие возможности независимо от назначения исследуемой системы, так и специализированные, изначально создаваемые для решения конкретных задач в определенной предметной области. К первым относятся SPNP, SURF-2, GreatSPN, DSPNexpress, используемые, в том числе, и для исследования надежности систем [8], система имитационного моделирования динамических систем с использованием сетей Петри МФТИ [9], позволяющая работать с цветными сетями Петри. Примером последних является программа ColPet, разработанная для моделирования перевозок на железнодорожном транспорте [10]. Вместе с тем использование этих ИС может оказаться невозможным по ряду причин. Так, DSPNexpress не позволяет работать с цветными сетями Петри. GreatSPN предназначен для работы только с хорошо сформированными цветными сетями, не поддерживает выполнение ряда своих функций для цветных сетей и требует для своей работы малораспространенные аппаратные средства и операционные системы [11]. Основной же причиной, затрудняющей использование существующих ИС, является введение собственных правил выполнения сетей Петри. Это или делает использование этих ИС невозможным, или требует построения эквивалентных исходным, но гораздо более громоздких сетей Петри, выполнение которых возможно с учетом правил реализованных в том или ином ИС. Кроме того, для использования существующих ИС требуется построение сети Петри “вручную”. Поэтому в данном случае более целесообразной, нежели применение существующих, представляется разработка собственных ИС, позволяющих автоматизировано строить сети Петри по формализованному представлению исследуемой БИУС и выполнять их без всяких преобразований в другие эквивалентные сети. При этом следует отметить, что создание графического интерфейса для визуализации

процесса имитационного моделирования является самостоятельной задачей разработки ИС, поэтому для создания собственных средств для работы с сетями Петри могут быть использованы системы компьютерной математики общего назначения, а средства визуализации разработаны отдельно. Собственные ИС для работы с сетями Петри могут как входить в состав единого ИС анализа КФС, так и являться самостоятельным ИС. Последнее более предпочтительно с точки зрения процесса разработки, отладки и модификации программного обеспечения.

#### 4. Архитектура ИС

ИС ИТ состоят из средств формирования КФС БИУС, средств анализа живучести БИУС и средств выбора КФС БИУС. На рис. 2 представлена архитектура этих средств. Каждое из ИС содержит компоненты получения исходных данных, компоненты выполнения своего назначения и компоненты представления полученных результатов. Исходными данными является информация, сформированная разработчиками БИУС, смежными ИС или полученная из базы данных (БД), содержащей результаты предыдущих разработок и являющейся самостоятельным компонентом ИТ. Разработчики БИУС предоставляют информацию о множестве возможных отказов, их последствиях, составе функций БИУС, оценках живучести. Компоненты представления полученных результатов организуют результаты работы ИС как самостоятельный компонент ИТ – компонент результатов. Компоненты разных ИС непосредственно между собой не взаимодействуют. Их взаимодействие осуществляется посредством компонентов результатов работы ИС. Конечный результат работы ИС – КФС БИУС – предоставляется разработчикам

БИУС и заносится в БД. Выделяются следующие интерфейсные компоненты:

- интерфейс с разработчиками БИУС;
- интерфейс с БД;
- интерфейс компонентов ИС с компонентами результатов;
- внутренний интерфейс компонентов каждого ИС между собой.

ИС могут быть объединены, полностью или частично, в единую инструментальную систему или использоваться раздельно. В случае объединения интерфейс с компонентами результатов не нужен – используется внутренний интерфейс компонентов одного ИС.

Описанная архитектура ИС логически соответствует структуре разработанных методов анализа живучести и формирования КФС БИУС и фактически является архитектурой программных средств ИТ. Архитектура аппаратных средств как таковая не рассматривается, так как для реализации данной ИТ достаточно ПЭВМ со стандартными характеристиками. Какие-либо особые технические требования, кроме эргономичности, к ИС не предъявляются, так как ИТ не является системой реального времени и критического применения.

#### 5. ИТ как средство обеспечения качества разработки БИУС

Использование ИТ поддержки определения КФС БИУС не только технически упрощает разработку системы. В настоящее время основной концепцией промышленных разработок, активно развиваемой и внедряемой за рубежом, является CALS-технология (CALS – Информационная Поддержка жизненного цикла Изделий (ИПИ)). Целью приме-

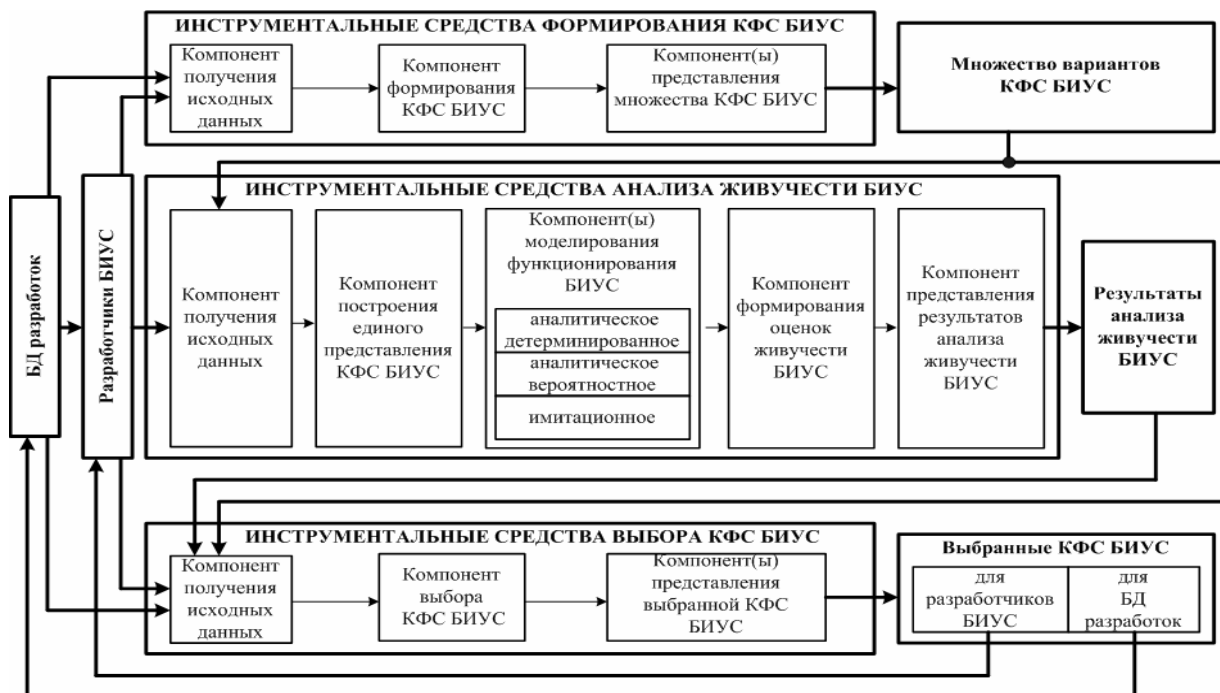


Рис. 2. Архитектура инструментальных средств информационной технологии поддержки определения КФС БИУС

нения CALS-технологий, как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом, является минимизация затрат в ходе жизненного цикла (ЖЦ) изделия, повышение его качества и конкурентоспособности [12, 13].

Внедрение таких ИТ, разработанных совместно российскими и украинскими специалистами (НИЦ “Прикладная логистика”, НИЦ АСК, “Авиастар СП”, ОКБ “Сухой”, МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского, УкрНИИАТ), имеет место на ведущих авиастроительных предприятиях России и Украины, в том числе на предприятии “Мотор Січ” [12,13]. Разработанные технологии предназначены для решения задач конструкторской и технологической подготовки опытного и серийного производства изделий авиационной техники, а также автоматизированной подготовки технической эксплуатационной документации. Информация о КФС, как результат выполнения этапа определения КФС БИУС, не требуется на последующих этапах ЖЦ разрабатываемой системы, поэтому ИТ поддержки определения КФС не является составной частью CALS-технологии разработки и производства БИУС. Однако с точки зрения цели и идеологии CALS-технологий ИТ поддержки определения КФС можно считать “локальной” CALS-технологией, главными преимуществами использования которой являются:

1) сокращение количества ошибок и переделок в процессе разработки БИУС;

2) сокращение количества ошибок и переделок при внесении изменений;

3) возможность создания базы решений КФС, формируемой, пополняемой и корректируемой по результатам каждой разработки и используемой в последующих разработках.

Результатом указанных преимуществ является повышение качества разработки и сокращение затрат всех видов (стоимостных, временных, ресурсных) на разработку и модификацию БИУС.

## Выводы

В данной статье определена общая концепция ИТ поддержки определения КФС БИУС, что имеет практическое значение для создания САПР и использования ее при разработке БИУС. Рассмотрены ключевые составляющие ИТ, имеющие непосредственное отношение к определению КФС - информационные потоки, их преобразование, математические и программные средства.

Разработана схема взаимодействия информационных потоков, процессов и ИС ИТ поддержки определения КФС БИУС, соответствующая предложенным методам анализа живучести и формирования КФС.

Разработана архитектура ИС, соответствующая логике разработанных методов анализа живучести и формирования КФС БИУС и удовлетворяющая требованиям по структурированности и обеспечению качества процессов разработки, отработки и модификации программных средств.

Создание САПР на основе предложенной ИТ и ее последующих модификаций будет способствовать повышению качества разработки и сокращению затрат всех видов (стоимостных, временных, ресурсных) на разработку и модификацию БИУС, так как позволит:

– сократить количество ошибок и переделок в процессе разработки БИУС;

– сократить количество ошибок и переделок при внесении изменений;

– создать базу решений КФС, формируемой, пополняемой и корректируемой по результатам каждой разработки и используемой в последующих разработках.

## Список литературы

1. Харченко В.С., Бородавка Н.П. Формализованное представление номинальной функциональной структуры для анализа живучести бортовых ИУС // *Модельвання та інформаційні технології*. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова, 2004. – Вип. 26. – С. 206-212.

2. Харченко В.С., Бородавка Н.П. Моделирование и анализ живучести бортовых ИУС по избыточной функциональной структуре // *Радиоэлектроника и информатика*. – 2005. – № 2. – С. 89-95.

3. Харченко В.С., Бородавка Н.П. Использование сетей Петри при проведении анализа живучести бортовых ИУС // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. – № 6. – С. 55-60.

4. Бородавка Н.П. Формування функціональних структур живучих бортових ІКС // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2006. – № 3. – С. 19-29.

5. Советов Б.Я., Цехановский В.В. Информационные технологии. – М.: Высш. шк., 2005. – 263 с.

6. Рычков В., Дьяконов В., Новиков Ю. Компьютер для студента. Самоучитель. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.

7. Шилин С.А. Обзор методов моделирования взаимодействующих процессов // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2005. – № 9. – С. 22-25.

8. Avižienis A., Laprie J.-C., Randell B. *Fundamental Concepts of Dependability*. UCLA CSD Report no 010028, LAAS Report no 01-145, Newcastle University Report no CS-TR-739. – 2004. – 20 p.

9. Система имитационного моделирования динамических систем с использованием сетей Петри [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mipt.ru/nauka/f\\_228ed/a\\_319ed.html](http://www.mipt.ru/nauka/f_228ed/a_319ed.html).

10. Данько Н.И. “Цветные” сети Петри в задачах моделирования неоднородных технологических процессов // *ИУСЖТ*. – 2003. – № 6. – С. 78-81.

11. GreatSPN 2.0 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.di.unito.it/~greatspn/>.

12. Судов Е.В., Левин А.И. CALS (ИПИ)-технологии в наукоёмком машиностроении России и Украины // *Технологические системы*. – 2004. – № 4. – С. 63-67.

13. Давыдов Ю.В. Информационные технологии – основа качества производства наукоёмких изделий // *Технологические системы*. – 2004. – № 4. – С. 95-99.

Поступила в редколлегию 26.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.