

Научно-практический журнал

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

№ 4
2013

Пензенский государственный университет
Тел.: (841-2) 56-43-46
E-mail: kipra@pnzgu.ru



НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Научно-практический журнал

Тематика журнала:

информатика, вычислительная техника, управление, электроника, измерительная техника, радиотехника, машиностроение, машиноведение

Цель журнала:

представить результаты научных исследований и разработок, практических результатов деятельности в области повышения надежности и качества сложных систем

Территория распространения:

Российская Федерация и зарубежные страны

Периодичность выхода:

четыре раза в год

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
На сайте Научной электронной библиотеки **eLIBRARY.RU** (www.elibrary.ru)
и <http://cyberleninka.ru> доступны полные тексты статей.
Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

ГЛАВНАЯ РЕДАЦИЯ:

В. И. Волчихин (главный редактор),
Н. К. Юрков (заместитель главного редактора),
В. А. Трусов (выпускающий редактор),
В. Я. Баннов (ответственный секретарь)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

О. В. Абрамов, О. М. Алифанов, И. И. Артемов, Б. Ф. Безродный, В. П. Буц,
А. Г. Дмитриенко, Ю. Г. Евтушенко, В. А. Ермолаев, В. А. Каштанов, Б. К. Кемалов,
Э. В. Лапшин, Е. А. Ломтев, В. А. Майстер, И. Г. Мироненко, М. Ю. Михеев,
Т. И. Мурашкина, В. Г. Недорезов, В. А. Острейковский, М. Н. Пиганов,
М. В. Руфицкий, В. П. Савченко, С. С. Садыков, Г. С. Садыхов, В. В. Сафронов,
А. В. Светлов, Н. А. Северцев, С. У. Увайсов, С. П. Халютин,
А. Г. Шайко-Шайковский, В. А. Шахнов, А. Н. Якимов

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ № ФС77-49712 от 4 мая 2012 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзором)

Адрес редакции:

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40
Пензенский государственный университет
Тел./факс (8412) 56-43-46; E-mail: kipra@pnzgu.ru

ISSN 2307-4205

Перепечатка допускается только
по согласованию с редакцией со ссылкой на журнал

НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

*Редактор В. В. Чувашова
Технические редакторы Ю. В. Коломиец, Ф. Д. Фафурин
Компьютерная верстка Ф. Д. Фафурина*

Подписано в печать 19.12.2013. Формат 60×84¹/₈.
Усл. печ. л. 9,3. Заказ № 000. Тираж 1000.

Пенза, Красная, 40, Издательство ПГУ
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@pnzgu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Дедков В. К. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	3
---	---

Шишкин В. В., Танатов М. К., Юрков Н. К. МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	9
--	---

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Лапшин Э. В. МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	14
--	----

Якимов А. Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЕ.....	21
---	----

Михеев А. М., Семочкина И. Ю. 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	28
---	----

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Затылкин А. В., Таньков Г. В., Кочегаров И. И. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ АМОРТИЗАЦИИ РЭС	33
---	----

Лысенко А. В. СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭС И МЕТОДИКА, ЕГО РЕАЛИЗУЮЩАЯ	41
---	----

Семенов С. С. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО МЕТОДА.....	45
---	----

Назарова И. Т., Серебряков Д. И., Бростилова Т. Ю., Мурашкина Т. И. МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ.....	54
Ившина Н. С., Бухаров А. Е. К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОВЫСОТОМЕРНЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ.....	60
Полесский С. Н., Карапузов М. А., Жаднов В. В. НАДЕЖНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ТОНКОГО КЛИЕНТА И РАБОЧИХ СТАНЦИЙ	66
Юрков Н. К., Затылкин А. В., Полесский С. Н., Иванов И. А., Лысенко А. В. ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ.....	74

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК. 519 8

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. К. Дедков

Под термином «критерий эффективности» понимается чаще всего **условие**, на основе которого осуществляется определение **показателя** эффективности. Под «критерием» оценивания качества иногда понимают также **мерило**, **отличительный признак**, «**пробный камень**» или, по образному выражению, «**критерий истины**» [1].

«Критерий» формулируется в виде некоторого высказывания о качественном или количественном значении показателя, определяющего желаемые свойства сложной технической системы (СТС).

Термин «**показатель**» **эффективности** выражает собой **меру соответствия** достигнутых результатов требуемым значениям в отношении принятого критерия.

Критерий эффективности, как ее мерило, должен устанавливать соотношение между полезным (ожидаемым) эффектом, т.е. результатом функционирования, и требуемым или заданным результатом.

Различают критерии «**собственные**» и «**несобственные**».

Если исследуемый объект рассматривается как подсистема системы более высокого уровня иерархии, то об эффективности можно судить по результатам функционирования системы более высокого уровня и по тому, какой «вклад» в достижение общей цели вносит рассматриваемый объект.

Критерии, на основе которых оценивается эффективность составной части (подсистемы) сложной системы, называются «**несобственными**».

Если же исследуемый объект рассматривается как самостоятельная система, то говорят, что его эффективность оценивается по «**собственному**» критерию.

Критерии могут быть как **векторными**, если результаты функционирования СТС определяются совокупностью показателей, так и **скалярными**, если оценивание соответствия результатов функционирования заданным требованиям осуществляется на основе набора разнородных требований. Тогда удовлетворение требований по одному из показателей осуществляется на основе скалярного критерия.

Критерии могут быть частными, общими и обобщенными.

Существует две противоположные точки зрения на установление числа критериев в каждом конкретном случае [2].

Сторонники многокритериальных задач указывают на практическую невозможность соизмерения некоторых видов полезного эффекта и затрат, а следовательно, и невозможность использования единого обобщенного критерия эффективности.

С другой стороны, отмечается, что в случае применения для оценки эффективности и принятия решения нескольких критериев необходим какой-то алгоритм сопоставления показателей

эффективности, в противном случае выбор решения невозможен. Необходим единый критерий эффективности для обеспечения выбора оптимального решения, к такому выводу приходят сторонники объединения критериев.

Проблема выбора критериев достаточно серьезная: для большинства крупномасштабных задач характерно наличие целого ряда критериев W_1, W_2, \dots, W_k и соответствующих им показателей P_1, P_2, \dots, P_k , одни из которых следует **максимизировать**, а другие – **минимизировать**. Можно ли найти решение, удовлетворяющее сразу всем требованиям? Нет.

Решение, обращающее в максимум какой-либо показатель, как правило, не обращает ни в максимум, ни в минимум другие.

Поэтому широко применяемая формулировка «**достижение максимального эффекта при минимальных затратах**» – не более чем фраза, которая при научном анализе должна быть отброшена.

Как же поступают в случае, если задача «поликритериальна»? На практике применяют следующий прием: стараются составить из нескольких показателей один и пользоваться им при выборе решения.

Часто такой показатель принимает форму дроби, у которой в качестве числителя используется показатель, подлежащий **увеличению**, а в качестве знаменателя – показатель, значение которого должно быть **уменьшено**.

В числителе – полезный эффект, в знаменателе – затраты или в числителе – потери противника, в знаменателе – собственные потери и израсходованные средства.

Однако такой метод конструирования объединенного показателя некорректен. Он основан на допущении, что всегда недостаток в одном показателе может быть скомпенсирован за счет другого, например, малая вероятность достижения цели за счет малой стоимости.

Существуют две основные формы представления показателя эффективности любых решений в области рациональной деятельности человека, в том числе и при проектировании СТС [2].

Первой формой является **достижение максимума полезного эффекта при заданных затратах ресурсов**. В такой постановке принцип оптимальности может быть назван **принципом максимизации эффекта**.

При второй постановке оптимальность достигается путем **минимизации затрат ресурсов с обязательным достижением заданного эффекта (принцип экономии ресурсов)**.

Принципы максимизации эффекта и экономии ресурсов эквивалентны друг другу, в том смысле, что для поиска неизвестного решения можно использовать любую из процедур нахождения экстремума. Результат в обоих случаях должен быть один и тот же.

Основные критерии эффективности

Принципы максимизации эффекта и экономии ресурсов являются наиболее общими принципами выбора критериев эффективности.

Из этого следует, что должны существовать, по крайней мере, три группы критериев эффективности, исчерпывающим образом характеризующих основные цели функционирования СТС.

1. *Функциональные критерии эффективности*, характеризующие степень приспособленности СТС к выполнению своих задач или степень соответствия результатов функционирования заданным целям.

2. *Экономические критерии эффективности*. На основе экономических критериев решаются следующие задачи: какой ценой достигается требуемый эффект функционирования СТС; какова стоимость создания СТС с заданными показателями функционирования; достижимы ли заданные показатели функционирования при имеющихся в наличии ресурсах?

3. *Временные критерии эффективности* функционирования. На основе временных критериев решаются, например, задачи по определению минимального времени подготовки СТС к применению или по оцениванию минимального времени выполнения поставленной задачи. Временному критерию чаще всего соответствуют показатели эффективности СТС в форме вероятности уложиться в определенные (заданные, гарантийные, директивные и т.п.) сроки.

Некоторые способы решения многокритериальных задач оценивания эффективности

Решение о выборе СТС, в наибольшей степени соответствующей предъявленным требованиям по критериям эффективности, не всегда может быть однозначным.

Так, самолет целевого назначения, совершающий полеты с целью раннего обнаружения и распознавания летящих объектов противника, должен обладать способностью обнаруживать и идентифицировать цели. Показателем эффективности операции, выполняемой таким самолетом, является вероятность того, что ни один объект противника не прорвется к цели.

Однако этот показатель не единственный. Существуют и другие показатели, такие как стоимость выполнения задачи, длительность нахождения самолета-разведчика в режиме выполнения задачи, т.е. в полете и т.д.

В практической деятельности многокритериальные задачи решаются довольно успешно, хотя математически строгого (корректного) решения задач многокритериальной оптимизации пока не существует.

1. **Задача выбора лучшего варианта СТС в условиях многокритериальности** прежде всего заключается в исключении из дальнейшего рассмотрения явно нерациональных вариантов СТС, уступающих другим по показателям эффективности.

Пусть качество функционирования СТС оценивается двумя показателями: $W_{БЗ}$ – вероятность выполнения боевой задачи и $C_{БЗ}$ – математическое ожидание стоимости выполнения боевой задачи.

Очевидно, $W_{БЗ}$ следует обратить в максимум, а $C_{БЗ}$ – в минимум. Пусть предложено 15 вариантов систем, для каждой из которых известны $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ (рис. 1).

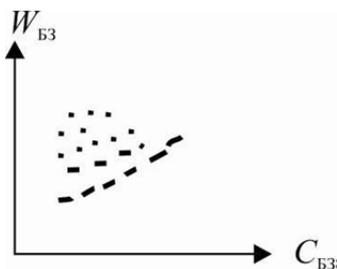


Рис. 1. Графическое представление различных вариантов СТС

Каждый вариант изображен точкой на рис. 1. Для выбора оптимального варианта СТС следует рассмотреть точки, расположенные одновременно на правой (наибольшая $W_{БЗ}$) и нижней (наименьшая $C_{БЗ}$) границе области возможных вариантов, так как они превосходят по показателям $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ все остальные варианты.

Среди оставшихся вариантов, кроме соединенных на рис.1 пунктиром, необходимо установить: какой ценой оплачено известное повышение $W_{БЗ}$ или какой долей $C_{БЗ}$ можно пожертвовать, чтобы соблюсти экономию.

Аналогично производится отбрасывание непригодных вариантов, когда показателей эффективности не два, а несколько (правда при этом теряется наглядность).

Из рис. 1 также видно, что минимизация по одному критерию несовместима с максимизацией по другому.

2. Как отмечалось выше, нередко в качестве **обобщенного критерия эффективности берут максимум дроби**, в числителе которой те показатели, которые следует увеличивать, а в знаменателе те, которые надо уменьшать:

$$W = \max \frac{W_1 \dots W_l}{W_{l+1} \dots W_r}. \quad (1)$$

Недостаток такого подхода заключается в том, что низкий уровень одного показателя может быть скомпенсирован за счет уменьшения другого, например:

$$W = \max \frac{W_{БЗ}}{C_{БЗ}}. \quad (2)$$

Отсюда вытекает неоднозначность выбора $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$.

К этому критерию непосредственно примыкает другой, основанный на использовании максимума разности показателей:

$$W = \max(W_1 - W_2), \begin{cases} W_1 - \text{прибыль (выигрыш)}(W_{БЗ}) \\ W_2 - \text{затраты}(C_{БЗ}) \end{cases} \quad (3)$$

Недостаток этого показателя такой же, как и предыдущего.

Представленная на рис. 2 зависимость между показателями $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$ позволяет наглядно продемонстрировать недостатки изложенного выше подхода к формированию критериев эффективности.

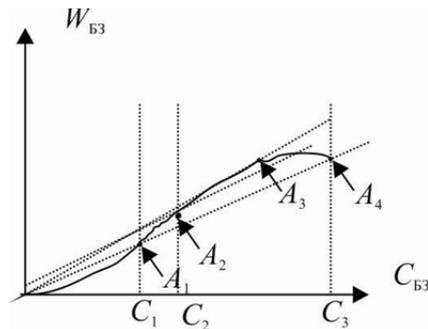


Рис. 2. Зависимости между показателями $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$

Отмеченные на рис. 2 точки A_1, A_2, A_3 и A_4 соответствуют различным вариантам выбора $W_{БЗ}$ и $C_{БЗ}$. Наибольшее соотношение $\frac{W_{БЗ}}{C_{БЗ}}$ соответствует варианту A_3 , затем идет A_2 и, наконец, равнозначные, в смысле принятого показателя, A_1 и A_4 .

Следует ли из этого, что решение A_3 всегда окажется наилучшим?

Если ресурсы ограничены величиной C_1 , то решения $A_2 - A_4$ вообще не могут быть реализованы, а оптимальным является решение A_1 — «наихудшее» из приведенных на рисунке.

При ограничении C_3 предпочтение отдается варианту A_4 , несмотря на то, что по критерию (2) предпочтение должно быть отдано вариантам A_2 и A_3 . Заметим, что критерий (2), т.е. отношение полезного эффекта к затратам, на практике применяется довольно редко.

Если свести все показатели эффективности, соответствующие различным подходам к выбору критерия эффективности, к одной задаче, то соотношение между ними таково, как показано на рис. 3.

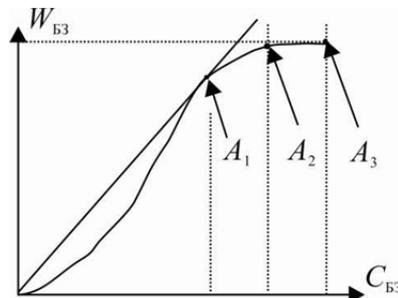


Рис. 3. График зависимостей между показателями эффективности:

A_1 — вариант решения, соответствующий максимальному отношению полезного эффекта к затратам;

A_2 — вариант решения, соответствующий максимальной разности полезного эффекта и затрат;

A_3 — вариант решения, соответствующий максимально возможному значению полезного эффекта при ограничении на величину затрат

3. Нередко на практике применяются другой обобщенный показатель эффективности, в качестве которого берут «взвешенную» сумму отдельных («частных») показателей эффективности, одни из которых следует максимизировать (они берутся со знаком «+»), а другие – минимизировать (они берутся со знаком «-»).

При произвольном назначении весов этот метод не лучше предыдущего:

$$W = \sum_{j=1}^r a_j W_j, \quad (4)$$

где a_j – весовой коэффициент показателя эффективности W_j .

Абсолютные значения весовых коэффициентов соответствуют степени «важности» показателя W_j .

Следует отметить, что избежать субъективизма в определении весовых коэффициентов невозможно, кроме того, эти «веса» существенно зависят от обстановки, в которой производится оценивание. Эти коэффициенты могут меняться от одного этапа разработки СТС к другому, от значений других показателей, которые также изменяются от этапа к этапу и т.д.

Метод последовательных уступок

Предполагается, что существует возможность расположить показатели эффективности в порядке «убывающей важности»:

$$W_1, W_2, \dots, W_r.$$

Процедура поиска варианта СТС, удовлетворяющего требованию максимизации составляющих обобщенного показателя, заключается в следующем.

Для простоты полагаем, что каждый показатель следует обратить в максимум. Сначала производится поиск решения, доставляющего максимум главному критерию W_1 . Затем, исходя из практических соображений, назначается некоторая уступка ΔW_1 , которую можно допустить, чтобы обратить в максимум второй показатель W_2 .

На показатель W_1 накладывается ограничение:

$$W \geq W_1^* - \Delta W_1,$$

где W_1^* – максимальное значение показателя W_1 .

При этом ограничении ищется решение, доставляющее максимум показателю W_2 . Далее назначается уступка ΔW_2 , ценой которой можно максимизировать показатель W_3 и т.д.

Положительным в этом методе является то, что сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе достигается выигрыш в другом.

Метод выделения главного показателя

Данный метод заключается в том, что после ранжировки всех показателей, выделяется единственный «главный» показатель, который обращается в максимум. На остальные показатели накладываются ограничения типа:

$$\max W_1, \text{ при } W_2 \geq \omega_2, W_3 \geq \omega_3, \dots, W_r \geq \omega_r.$$

При такой постановке задачи все показатели, кроме главного, переводятся в разряд заданных условий функционирования СТС. Варианты, не укладывающиеся в заданные границы, сразу же отбрасываются.

Оценка эффективности и ее оптимальность будут зависеть от выбора ограничений. Чтобы оценить, насколько второстепенные показатели эффективности влияют на изменение главного показателя, необходимо произвести предварительное варьирование этими показателями.

Метод последовательной многокритериальной оптимизации.

Суть метода в поиске таких вариантов, которые лучше остальных хотя бы по одному показателю и не хуже их по остальным показателям. За «оптимальный» вариант берется один из таких вариантов.

Функциональный метод

Метод заключается в построении «критериальной функции», т.е. зависимости между частными показателями эффективности. В дальнейшем производится исследование «критериальной функции».

Список литературы

1. Петухов, Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели / Г. Б. Петухов. – Л. : Министерство обороны СССР, 1989. – С. 635.
2. Нарусбаев, А. А. Введение в теорию обоснования проектных решений / А. А. Нарусбаев. – Л. : Судостроение, 1976. – 224 с.

УДК. 519. 8

Дедков, В. К.

Принципы формирования критериев и показателей эффективности функционирования сложных технических систем / В. К. Дедков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 3–8.

Дедков Виталий Кириллович

доктор технических наук, профессор,
научный сотрудник отдела безопасности
и нелинейного анализа,
Учреждение Российской академии наук,
Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
(495) 135-61-95
E-mail: dedkov-33@rambler.ru

Dedkov Vitaliy Kirillovich

doctor of technical science, professor, the scientific
worker of the division of safety and nonlinear analysis
the establishment of the Russian academy of sciences
Computer center A. A. Dorodnitsyn,
Russian academy of sciences
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Аннотация. Рассматриваются основные принципы постановки задач оптимизации по критериям максимума и минимума полезного эффекта. Показано в частности, что принцип максимизации эффекта направлен на достижение максимума полезного эффекта при заданных затратах ресурсов, а принцип экономии ресурсов направлен на минимизацию затрат ресурсов с обязательным достижением заданного эффекта.

Ключевые слова: показатели эффективности, критерии эффективности, векторные критерии, скалярные критерии, максимизация, минимизация, достижение полезного эффекта, многокритериальность, обобщенные критерии.

Abstract. In article the basic principles of statement of problems of optimization by criteria of a maximum and a minimum of useful effect are considered. It is shown in particular that the principle of maximizing effect is directed on achievement of a maximum of useful effect at the set expenses of resources, and the principle of economy of resources is directed on minimization of expenses of resources with obligatory achievement of the set effect.

Key words: efficiency indicators, criteria of efficiency, vector criteria, scalar criteria, maximizing, minimization, achievement of useful effect, the mnogokriterialnost, the generalized criteria.

УДК 004.056

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В. В. Шишкин, М. К. Танатов, Н. К. Юрков

Главной целью любой информационной безопасности является обеспечение устойчивого функционирования объекта, предотвращение угроз его функционирования, защита законных интересов от противоправных посягательств, недопущение хищения финансовых средств, разглашения, утраты, утечки, искажения и уничтожения служебной информации, обеспечение нормальной производственной деятельности всех подразделений объекта и др. [1–3].

Достижение заданных целей возможно при решении ряда задач:

- отнесение информации к категории ограниченного доступа (служебной тайне);
- прогнозирование и своевременное выявление угроз безопасности информационным ресурсам, причин и условий, способствующих нанесению финансового, материального и морального ущерба, нарушению его нормального функционирования и развития;
- создание условий функционирования с наименьшей вероятностью реализации угроз безопасности информационным ресурсам и нанесения различных видов ущерба;
- создание механизма и условий оперативного реагирования на угрозы информационной безопасности и проявления негативных тенденций в функционировании, эффективное пресечение посягательств на ресурсы на основе правовых, организационных и технических мер и средств обеспечения безопасности;
- создание условий для максимально возможного возмещения и локализации ущерба, наносимого неправомерными действиями физических и юридических лиц, ослабление негативного влияния последствий нарушения информационной безопасности на достижение стратегических целей.

Абстрактная модель взаимодействия элементов информационной безопасности, в том числе и нарушителей, показана на рис. 1.

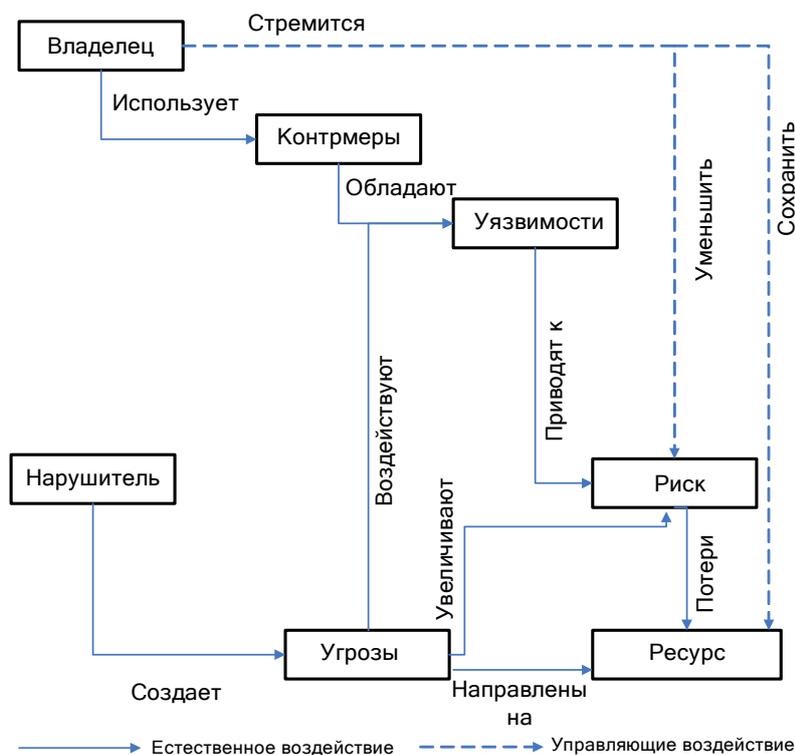


Рис. 1. Модель взаимодействия элементов информационной безопасности

Представленная модель информационной безопасности – это совокупность объективных внешних и внутренних факторов и их влияние на состояние информационной безопасности на объекте и на сохранность материальных или информационных ресурсов [4].

Рассматриваются следующие объективные факторы:

- угрозы информационной безопасности, характеризующиеся вероятностью возникновения и вероятностью реализации;
- уязвимости информационной системы или системы контрмер (системы информационной безопасности), влияющие на вероятность реализации угрозы;
- риск-фактор, отражающий возможный ущерб организации в результате реализации угрозы информационной безопасности: утечки информации и ее неправомерного использования (риск в конечном итоге отражает вероятные финансовые потери – прямые или косвенные).

Для обеспечения сбалансированной информационной безопасности необходимо сначала провести анализ рисков в области информационной безопасности, затем определить оптимальный уровень риска для организации на основе заданного критерия. Таким образом, станет возможно [5–7]:

- полностью проанализировать и документально оформить требования, связанные с обеспечением информационной безопасности;
- избежать расходов на излишние меры безопасности, возможные при субъективной оценке рисков;
- оказать помощь в планировании и осуществлении защиты на всех стадиях жизненного цикла информационных систем;
- обеспечить проведение работ в сжатые сроки;
- представить обоснование для выбора мер противодействия;
- оценить эффективность контрмер, сравнить различные варианты контрмер.

Для адекватной оценки использования ресурсов при обеспечении информационной безопасности необходимо знать, от чего конкретно будет осуществляться защита. Таким образом, необходимо провести анализ рисков, угрожающих предприятию. В этом процессе возможна следующая методология:

- описание объекта и существующих мер защиты;
- идентификация используемых ресурсов и оценивание их количественных показателей (определение потенциального негативного воздействия на бизнес);
- анализ угроз информационной безопасности;
- оценивание найденных уязвимостей;
- оценивание существующих и предполагаемых средств обеспечения информационной безопасности;
- оценивание рисков.

Риск характеризует опасность, которой может подвергаться система и использующая ее организация, и зависит:

- от показателей ценности ресурсов;
- вероятностей нанесения ущерба ресурсам (выражаемых через вероятности реализации угроз для ресурсов);
- степени легкости, с которой уязвимости могут быть использованы при возникновении угроз (уязвимости системы защиты).

Расчет этих показателей выполняется на основе математических методов, имеющих такие характеристики, как обоснование и параметры точности метода. Оценку рисков и анализ угроз можно проводить на основе предлагаемой модели (рис. 2).

Обеспечение повышенных требований к информационной безопасности предполагает соответствующие мероприятия на всех этапах жизненного цикла информационной системы. Планирование этих мероприятий производится по завершении этапа анализа рисков и выбора контрмер. Прежде чем предлагать какие-либо технические решения по информационной безопасности объекта, предстоит разработать для него политику безопасности.

Собственно организационная политика безопасности описывает порядок предоставления и использования прав доступа пользователей, а также требования отчетности пользователей за свои действия в вопросах безопасности.



Рис. 2. Возможная модель оценки информационных рисков

Информационная безопасность объекта окажется эффективной, если она будет надежно поддерживать выполнение правил политики безопасности, и наоборот. Шагами построения организационной политики безопасности можно считать:

- внесение в описание объекта автоматизации структуры ценности и проведение анализа риска;
- определение правил для любого процесса пользования конкретным видом ресурса объекта автоматизации, имеющим конкретную степень ценности.

Организационная политика безопасности оформляется в виде отдельного документа, который согласовывается с заказчиком.

Описанная методика позволяет оценить или переоценить уровень текущего состояния информационной безопасности предприятия, выработать рекомендации по обеспечению (повышению) информационной безопасности предприятия, снизить потенциальные потери предприятия или организации путем повышения устойчивости функционирования корпоративной сети, разработать концепцию и политику безопасности предприятия, а также предложить планы защиты конфиденциальной информации предприятия, передаваемой по открытым каналам связи, защиты информации предприятия от умышленного искажения (разрушения), несанкционированного доступа к ней, ее копирования или использования.

Список литературы

1. Гуревич, И. М. Информационные характеристики физических систем / И. М. Гуревич. – М. : ИПИ РАН, 2009. – 170 с.
2. Гуревич, И. М. Законы информатики – основа строения и познания сложных систем / И. М. Гуревич. – 2-е изд., уточн. и доп. – М. : ТОРУС ПРЕСС, 2007. – 400 с.
3. Крупин, В. П. Методика оценки информационных ресурсов / В. П. Крупин, Е. Е. Крупина, В. В. Лещинский. – М. : РАО, 2002. – 22 с.
4. Урсул, А. Д. Отражение и информация / А. Д. Урсул. – М. : Мысль, 1973. – 231 с.
5. Юрков, Н. К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 104–106.
6. Юрков, Н. К. К проблеме обеспечения глобальной безопасности / Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 6–8.
7. Грущанский, В. А. О формализации показателей эффективности и безопасности комплексных программ в условиях неопределенности и риска / В. А. Грущанский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 3–9.

УДК 004.056

Шишкин, В. В.

Методика обеспечения информационной безопасности / В. В. Шишкин, Н. К. Юрков, Н. Ж. Мусин // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 9–13.

Шишкин Вячеслав Вячеславович

аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: d.m.00@mail.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Мусин Нариман Жапарович

начальник,
Военный институт Сил воздушной обороны
им. Дважды Героя Советского Союза
Талгата Бегельдинова
(Казахстан, г. Актобе,
проспект Алии Молдагуловой, 16)

Shishkin Vyacheslav Vyacheslavovich

postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical science, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Musin Nariman Zhaparovich

head,
Military Institute of Air Defense
named after Hero of the Soviet Union
Talgat Begeldinova
(16 Alii Moldagulovoy avenue, Aktobe, Kazakhstan)

Аннотация. Рассматривается методика создания и оценки системы информационной безопасности, рассматриваются подходы к оценке рисков и методов их сокращения.

Ключевые слова: информация, безопасность, риски, угрозы, нарушитель, защита.

Abstract. This article describes a technique for creating and evaluating information security systems, discusses approaches to risk assessment and methods to reduce them.

Key words: information, security, risks, threats, intruder protection.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.7.072.8

МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Э. В. Лапшин

Аппроксимация характеристик летательного аппарата (ЛА), силовой установки, а также бортового комплекса ЛА составляет часть информационной технологии идентификации авиационных тренажеров (АТ). Как уже отмечалось, идентификация выполняется не только в интересах разработки технических средств обучения (ТСО), но и для обеспечения многих других важнейших целей и этапов жизненного цикла АК: проектирования, испытаний, сертификации, эксплуатации.

Информационная технология идентификации и методы аппроксимации характеристик АК

Информационная технология идентификации в укрупненном виде состоит из следующих шести этапов:

- 1) получение исходных экспериментальных и расчетных данных;
- 2) первичная обработка и создание массива данных;
- 3) назначение областей аппроксимации в пространствах аргументов;
- 4) выбор метода аппроксимации и выполнение самой аппроксимации;
- 5) разработка рабочих алгоритмов;
- 6) оценка точности.

Идентификация, как правило, требует творчества, носит характер исследования и лишь в редких случаях может быть полностью формализована. Исследовательский итерационный характер носят, в частности, такие этапы, как назначение областей аппроксимации, выбор метода аппроксимации и др.

Таким образом, процедура идентификации в целом относится к человеко-машинным процедурам исследовательского характера.

Есть основания предполагать, что структура описательной модели исследовательской деятельности человека может быть получена путем комплексирования модели действий оператора по управлению и модели обучения.

Действительно, исследовательский процесс базируется как на знаниях и мыслительных экспериментах (подобно процессу обучения), так и на действиях по управлению в ходе физических и численных экспериментов.

Структурная схема исследовательской деятельности человека-оператора (например, разработчика ТСО в процессе идентификации) объединяет прогнозно-оптимизационный механизм синтеза с мыслительными, численными и физическими экспериментами, интерактивной адаптацией модели. Здесь принципы психофизиологической функциональной системы П. К. Анохина переносятся на исследовательскую деятельность.

Конечно, возможны варианты структуры деятельности исследователя. Так, могут быть включены звенья оптимального планирования экспериментов, применяемого в разнообразных задачах получения экспериментальных данных [1, 2]. Структура может быть расширена за счет включения экспертных обучающих блоков [3].

В целом подобные модели исследовательской деятельности в процессе идентификации относятся, прежде всего, к первым из упомянутых операций (получение исходных расчетных и экспериментальных данных, их первичная обработка, создание массивов). Для идентификации летательных аппаратов это – предметы вычислительной аэродинамики [4], трубных, стендовых, летных испытаний [5, 6, 8].

К собственно аппроксимации в информационной технологии идентификации можно отнести четыре последние из вышеуказанных шести этапов идентификации. Именно эти этапы рассматриваются ниже с учетом следующих факторов [7]:

- а) необходимый объем и качество (точность) исходного экспериментального и расчетного материалов;
- б) вычислительные затраты и точность аппроксимации при рассматриваемом методе;
- в) вычислительные затраты при воспроизведении характеристик в процессе моделирования;
- г) воспроизведение производных, степень гладкости аппроксимирующей функции.

Вспомогательные операции при аппроксимации

При эвристическом выборе метода аппроксимации (и параметров метода) важным является создание образа аппроксимируемой функции. Для сложных функций многих переменных это непростая задача. Для иллюстрации обратимся к примеру. На рис. 1 приведены типовые характеристики коэффициента продольного момента $m_z(c_y, M)$ как функции числа M и коэффициента подъемной силы для дозвукового c_y (рис. 1,а) и сверхзвукового (рис. 1,б) самолетов [8].

Анализ рис. 1 доказывает наличие достаточно сложного характера соответствующих поверхностей. Правда, современные стандартные программные средства машинной графики позволяют наглядно демонстрировать двумерные поверхности, например, в изометрической и/или других проекциях.

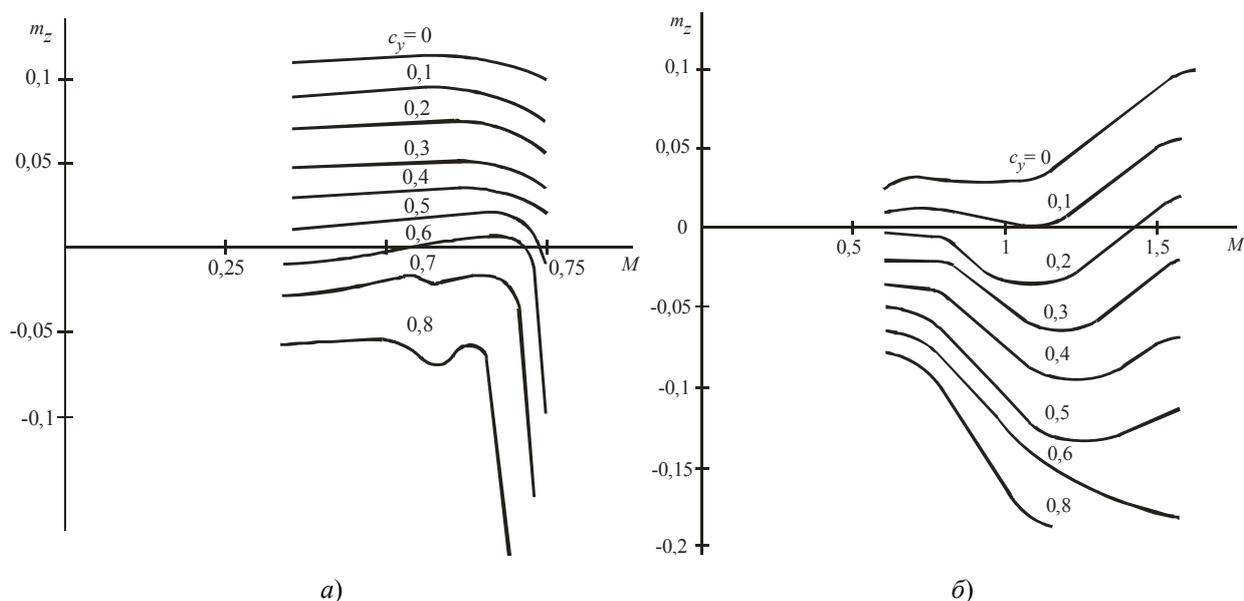


Рис. 1. Типовые характеристики $m_z(c_y, M)$ для дозвукового (а) и сверхзвукового (б) самолетов

Число аргументов функции m_z (как и других функций) может превышать пять и более. Мыслительные образы в многомерных пространствах формируются у человека с большим трудом вследствие его адаптированности к реальному двух- и трехмерному миру.

Ниже предлагается и обосновывается один из путей преодоления этих трудностей посредством перехода к спектральному представлению аппроксимируемых (интерполируемых) функций и формализованному определению густоты сетки интерполяции.

К числу вспомогательных операций при аппроксимации можно отнести и назначение областей аппроксимации в пространствах аргументов. Параметры полета, параметры режима силовой установки и другие компоненты вектора состояния современного АК подчиняются многочисленным сложным и достаточно жестким эксплуатационным ограничениям. Все эти ограничения должны выдерживаться в имитационном полете. При отработке умений и навыков действий в нештатных ситуациях эксплуатационные ограничения могут уступать место предельным ограничениям.

Эксплуатационные ограничения по высоте полета H и числу Маха M иллюстрирует рис. 2 [7]. Здесь указаны факторы, определяющие границы области ограничений: «болтанка» на малой высоте и высокой скорости, максимально допустимый по прочности конструкции скоростной напор q_{\max} , предельно допустимое (из-за нагрева) число $M_{\text{пред}}$, «тряска», минимальная (иволютивная) воздушная скорость V_{\min} .

Как отмечалось выше, эти и другие ограничения в имитируемом полете должны выдерживаться. Однако общая область ограничений в многомерном пространстве состояний получается очень сложной, неудобной для аппроксимации. Обычно целесообразно ее расширение до простой формы прямоугольного многомерного параллелепипеда в пространстве состояний. Соответствующее сечение этого параллелепипеда на рис. 2 обозначено пунктиром. Расширенную область в пространстве аргументов будем обозначать G_{Σ} . Она может включать часть, необходимую для имитации нештатных, критических режимов. Для этой части должен существовать исходный массив данных об аппроксимируемой функции и процесс аппроксимации, сходный с основной эксплуатационной областью. Здесь задача аппроксимации носит фиктивный характер, что будет пояснено в дальнейшем. Для этой части G_{Σ} нет необходимости иметь массив исходных данных об аппроксимируемой функции.

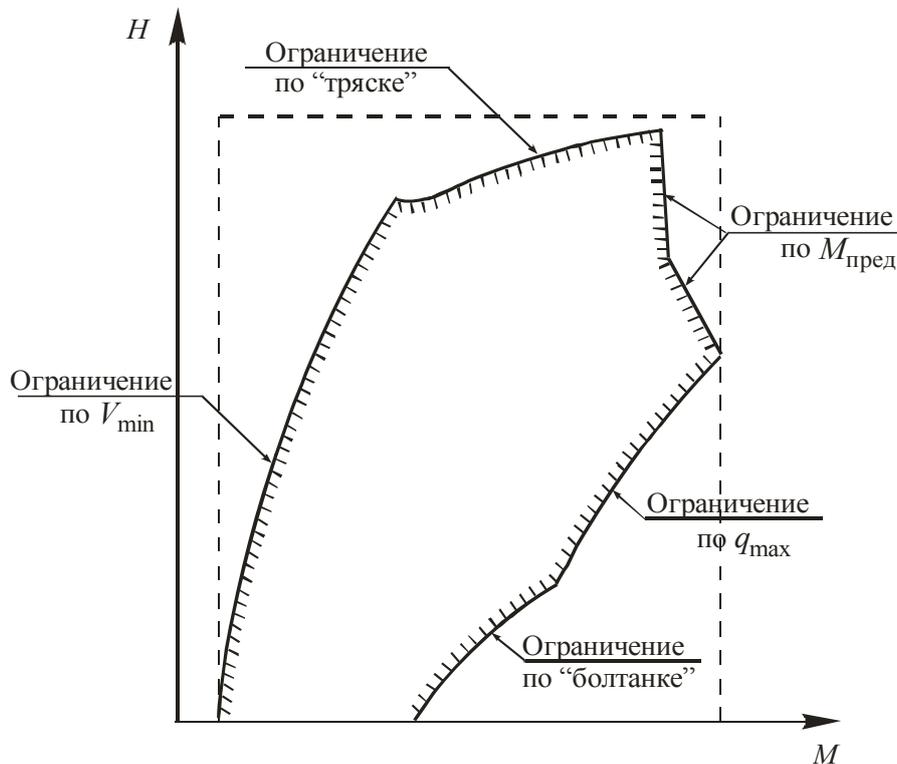


Рис. 2. Границы области эксплуатационных ограничений по высоте полета и числу Маха

К вспомогательным операциям аппроксимации можно отнести назначение дискретных (логических) аргументов – признаков. Под этим понимается следующее. Для современных пилотируемых АК характерны универсальность, адаптивность, получаемые за счет изменения конфигурации разнообразных органов разового управления. К таким средствам относится крыло переменной стреловидности, взлетно-посадочные средства (выпускное шасси, механизация крыла, тормозной парашют) и др. Эти средства обычно имеют лишь два (три) основных фиксированных положения, но влияние их на соответствующие характеристики существенно.

Так, если без учета изменения стреловидности и взлетно-посадочных средств коэффициент лобового сопротивления C_x считается функцией четырех аргументов: $c_x(\alpha, \beta, \delta_B, M)$, то с учетом угла стреловидности χ , выпуска шасси $\delta_{ш}$, тормозных щитков $\delta_{тщ}$ и тормозного парашюта $\delta_{тп}$ число аргументов возрастает до восьми:

$$c_x(\alpha, \beta, \delta_B, M, \chi, \delta_{ш}, \delta_{тщ}, \delta_{тп}). \quad (1)$$

Увеличение числа непрерывных аргументов резко увеличивает затраты на идентификацию и аппроксимацию. Однако рассматриваемые дополнительные аргументы являются в обычных применениях дискретными: χ принимает три значения, а $\delta_{ш}, \delta_{тщ}, \delta_{тп}$ вообще обозначают признаки «убрано – выпущено». Поэтому (1) можно заменить набором характеристик

$$c_{xv}(\alpha, \beta, \delta_B, M), \quad (2)$$

где номер v соответствует конфигурации, например: минимальная стреловидность, все посадочные средства выпущены.

При этом нет необходимости расширять пространство состояний в сравнении с исходным вариантом.

Полиномиальная аппроксимация

Пусть функция $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$, заданная в области $G_\Sigma \subset R^r$, аппроксимируется полиномом

$$\tilde{f} = \sum_{k_1, k_2, \dots, k_r} a_{k_1 k_2 \dots k_r} x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_r^{k_r}, \quad (3)$$

где суммирование по k_j ($j = 1, 2, \dots, r$) ведется в пределах от $k_j = 0$ до N_j (целые положительные числа); $a_{k_1 k_2 \dots k_r}$ – постоянные коэффициенты.

При полиномиальной аппроксимации по методу наименьших квадратов задача формулируется как

$$\min_{a_{k_1 k_2 \dots k_r}} \int_{G_\Sigma} [f(x_1, x_2, \dots, x_r) - \tilde{f}(x_1, x_2, \dots, x_r)]^2 dx_1 \dots dx_r. \quad (4)$$

Из этого получается система линейных алгебраических уравнений для определения коэффициентов $a_{k_1 k_2 \dots k_r}$:

$$\sum A_{k_1+l_1 \dots k_r+l_r} a_{k_1 \dots k_r} = B_{l_1 \dots l_r}. \quad (5)$$

Здесь l_1, \dots, l_r пробегает те же значения, что и k_1, \dots, k_r . Коэффициенты A, B выражаются формулами

$$A_{k_1+l_1 \dots k_r+l_r} = \int_{G_\Sigma} x_1^{k_1+l_1} \dots x_r^{k_r+l_r} dx_1 \dots dx_r, \quad (6)$$

$$B_{l_1 \dots l_r} = \int_{G_\Sigma} f(x_1, \dots, x_r) x_1^{l_1} \dots x_r^{l_r} dx_1 \dots dx_r. \quad (7)$$

Число неизвестных и число линейных уравнений здесь равны

$$N_{\Sigma} = (1 + N_1)(1 + N_2) \dots (1 + N_{\Sigma}). \quad (8)$$

При $r = 2$, $N_1 = N_2 = 3$, $N_{\Sigma} = 16$. Аппроксимирующий полином в этом случае имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{f} = & a_{00} + a_{10}x_1 + a_{01}x_2 + a_{20}x_1^2 + a_{02}x_2^2 + a_{11}x_1x_2 + \\ & + a_{30}x_1^3 + a_{03}x_2^3 + a_{21}x_1^2x_2 + a_{12}x_1x_2^2 + a_{111}x_1x_2x_3 + \\ & + a_{31}x_1^3x_2 + a_{13}x_1x_2^3 + a_{32}x_1^3x_2^2 + a_{23}x_1^2x_2^3 + a_{33}x_1^3x_2^3. \end{aligned}$$

При тех же наибольших степенях $N_1 = N_2 = \dots = N_r = 3$, но $r = 4$ $N_{\Sigma} = 256$, при $r = 5$ $N_{\Sigma} = 1024$. Из этого ясно, что для аппроксимации функций многих аргументов метод в его изложенной форме мало пригоден. Решение системы линейных уравнений (в том числе плохо обусловленных) столь высоких размерностей всегда требует весьма высоких вычислительных затрат (см. фактор б), указанный выше). В принципе возможно определение коэффициентов $a_{k_1k_2\dots k_r}$ путем непосредственной минимизации функционала разности $f - \tilde{f}$ (см. выражение (4)). Для этого, в частности, может применяться новый эффективный метод решения многоэкстремальных задач (характерно, что вычислительные методы решения различных задач оказываются взаимосвязанными). Однако трудности в отношении фактора в) (большие вычислительные затраты при воспроизведении функций многих аргументов) при полиномиальной аппроксимации сохраняются.

Широко известный путь снижения вычислительных трудностей полиномиальной аппроксимации функций многих аргументов заключается в переходе к кусочно-полиномиальной аппроксимации. При этом вся область G_{Σ} разбивается на подобласти (субобласти), в которых аппроксимирующие полиномы могут иметь пониженные степени при сохранении точности аппроксимации. Разбиение на субобласти иногда ведется на основе физических закономерностей (например: дозвуковые, трансзвуковые и сверхзвуковые режимы полета). В этом случае субобласти обычно получаются крупными и трудности, связанные с высокими необходимыми степенями полиномов и высокими размерностями пространства аргументов, в значительной мере сохраняются.

При делении области G_{Σ} на множество субобластей в виде ячеек правильной сетки можно применять полиномы низких степеней (вплоть до кусочно-линейной интерполяции, рассматриваемой ниже).

В последние десятилетия бурно развивается сплайн-аппроксимация, сплайн-интерполяция [8]. Это кусочно-полиномиальная аппроксимация (интерполяция), удовлетворяющая определенным условиям гладкости. Для функций одного-двух аргументов соответствующие теория и практика применения достигли высокого уровня развития. Однако с увеличением размерности пространства аргументов трудности здесь также быстро нарастают.

Другое направление составляет приближение ортогональными базисными функциями. Из этого направления кратко рассмотрим гармоническую аппроксимацию.

Гармоническая аппроксимация

Пусть функция $f(x_1, x_2, \dots, x_r)$, заданная в прямоугольной области

$$-L_j = -N_j\Delta_j \leq x_j \leq L_j = N_j\Delta_j, (j = 1, 2, \dots, r), \quad (9)$$

аппроксимируется суммой Фурье:

$$\begin{aligned} \tilde{f} = & \sum_{v_1, v_2, \dots, v_r} \left\{ a_{v_1 v_2 \dots v_r} \cos \left[\pi \left(v_1 \frac{x_1}{L_1} + v_2 \frac{x_2}{L_2} + \dots + v_r \frac{x_r}{L_r} \right) \right] + \right. \\ & \left. + b_{v_1 v_2 \dots v_r} \sin \left[\pi \left(v_1 \frac{x_1}{L_1} + v_2 \frac{x_2}{L_2} + \dots + v_r \frac{x_r}{L_r} \right) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $v_j = 0, 1, \dots, N_j$; $j = 1, 2, \dots, r$; $a_{v_1 v_2 \dots v_r}$, $b_{v_1 v_2 \dots v_r}$ – постоянные коэффициенты.

Эти коэффициенты в принципе могут приближенно определяться посредством дискретного обратного преобразования Фурье:

$$\begin{aligned} a_{v_1 \dots v_r} &= \frac{2}{N_1 \dots N_r} \sum_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_r} f(\varepsilon_1 \Delta_1, \dots, \varepsilon_r \Delta_r) \cos\left(\frac{\pi v_1 \varepsilon_1}{N_1}\right) \dots \cos\left(\frac{\pi v_r \varepsilon_r}{N_r}\right), \\ b_{v_1 \dots v_r} &= \frac{2}{N_1 \dots N_r} \sum_{\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_r} f(\varepsilon_1 \Delta_1, \dots, \varepsilon_r \Delta_r) \sin\left(\frac{\pi v_1 \varepsilon_1}{N_1}\right) \dots \sin\left(\frac{\pi v_r \varepsilon_r}{N_r}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь ε_j – целые числа, изменяющиеся в пределах $-N_j \leq \varepsilon_j \leq N_j - 1$, $j = 1, 2, \dots, r$.

Общее число коэффициентов в выражении (10) равно

$$N_\Sigma = 2 \prod_{j=1}^r (2N_j + 1), \quad (12)$$

т.е. даже больше, чем в выражении (8). Однако многими гармониками из этого числа обычно можно пренебречь. Некоторым подтверждением этого является выражение (10) для среднего квадрата функции в области G_Σ (9). Ввиду ортогональности тригонометрических базисных функций среднее значение \bar{f}^2 равно:

$$\bar{f}^2 = \frac{1}{2^r L_1 \dots L_r} \int_{G_\Sigma} \tilde{f}^2 dx_1 \dots dx_r = \frac{1}{2} \sum_{v_1 \dots v_r} (a_{v_1 \dots v_r}^2 + b_{v_1 \dots v_r}^2) \quad (12)$$

(в данном случае постоянная составляющая считается отсутствующей).

Для задач моделирования в ТСО точность исходных массивов данных обычно невысока (ошибки исчисляются процентами) и на основе (12) можно предполагать, что коэффициенты, которые на порядок и более меньше остальных, могут быть отброшены.

Главным достоинством гармонического (спектрального) представления (10) аппроксимирующей функции является возможность формализованного анализа образа (топологии) функции с позиций необходимой детальности описания. Такой формализованный анализ требуется и для применения других, более удобных методов аппроксимации.

Таким образом, спектральное представление функций многих аргументов может выступать в роли трудоемкой, но разовой вспомогательной операции на стадии разработки специального программного обеспечения имитаторов ТСО.

При этом максимальные ошибки кусочно-линейной интерполяции могут составлять первые единицы процентов, но могут и превышать 10 %.

Заключение

Отметим, что тригонометрическая модель аппроксимируемой функции (10) имеет еще одно положительное качество. Ввиду ортогональности базисных функций она удобна для процессов идентификации [8]. При подобающем выборе информационной технологии идентификации коэффициенты гармоник определяются уже не по формулам (10), а непосредственно в ходе получения и обработки экспериментальных данных.

Список литературы

1. Круг, Г. К. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции / Г. К. Круг, Ю. А. Сосулин, В. А. Фатуев. – М. : Наука, 1977. – С. 208.
2. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – М. : Наука, 1987. – С. 320.
3. Ларичев, О. И. Проблемы, методы и системы извлечения экспертных знаний / О. И. Ларичев, В. К. Моргоев // Автоматика и телемеханика. – 1991. – № 6. – С. 3–27.
4. Исследование сверхзвуковой аэродинамики самолетов на ЭВМ / С. М. Белоцерковский, Н. А. Кудрявцева, С. А. Попыталов, В. Г. Табачников. – М. : Наука, 1983. – 256 с.

5. Петров, К. П. Аэродинамика элементов летательных аппаратов / К. П. Петров. – М. : Машиностроение, 1985. – 374 с.
6. Пашковский, И. М. Летные испытания самолетов и обработка результатов испытаний / И. М. Пашковский, В. А. Леонов, Б. К. Поплавский. – М. : Машиностроение, 1985. – С. 415.
7. Красовский, А. А. Математическое моделирование и компьютерные системы обучения и тренажа / А. А. Красовский. – М. : Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1989. – 178 с.
8. Красовский, А. А. Математическое моделирование динамики полета летательного аппарата : моногр. / А. А. Красовский, Э. В. Лапшин, Н. К. Юрков ; под ред. Э. В. Лапшина. – Пенза : Изд-во ПФ РГУ ИТП, 2008. – 260 с.

УДК 629.7.072.8

Лапшин, Э. В.

Методы аппроксимации функций многих переменных авиационных комплексов / Э. В. Лапшин // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 14–20.

Лапшин Эдуард Владимирович

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 56-43-46,
E-mail: kipra@pnzgu.ru

Аннотация. Рассматривается необходимый объем и качество (точность) исходного экспериментального и расчетного материалов; вычислительные затраты и точность аппроксимации при рассматриваемом методе; вычислительные затраты при воспроизведении характеристик в процессе моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, аппроксимация, оптимальное планирование экспериментов, имитаторы.

Lapshin Eduard Vladimirovich

doctor of technical science, professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. Discusses the required volume and quality (accuracy) of the original pilot and checking materials; computational cost and accuracy when the method; the overhead of the playing characteristics during simulation.

Key words: mathematical modelling, approximation, the optimal design of experiments, simulators.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЕ

А. Н. ЯКИМОВ

Введение

При проектировании осесимметричных зеркальных параболических антенн необходимо учитывать то, что облучатель, а также конструктивные элементы, закрепляющие этот облучатель в расчетном положении, могут достаточно сильно влиять на характеристики излучения антенны. При этом возникает необходимость оценки и минимизации их возмущающего электромагнитного воздействия этих элементов, а также затенения зеркала облучателем и элементами его крепления. Вследствие такого затенения не все компоненты электромагнитного поля, создаваемого зеркалом антенны (рис. 1, поз. 1), достигают точки наблюдения.

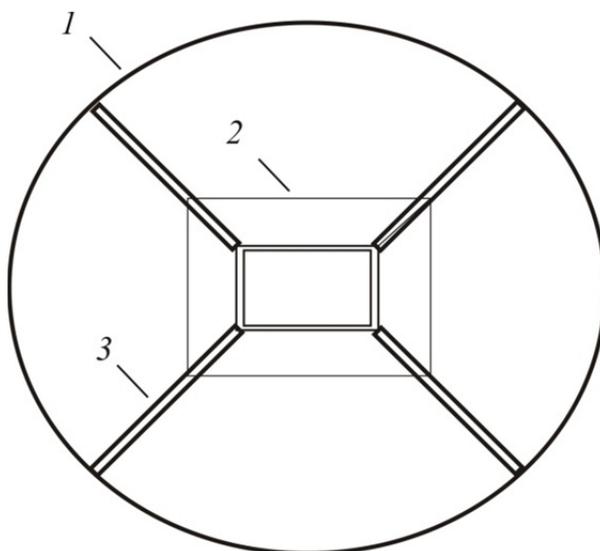


Рис. 1. Конструктивные элементы параболической антенны

Одна часть из них попадает в облучатель (см. рис. 1, поз. 2), изменяя его характеристики (реакция зеркала), а другая – отражается от проводящих элементов, создавая вторичное поле, влияющее на исходное поле зеркала антенны. Снижение негативного влияния этих элементов крепления облучателя (см. рис. 1, поз. 3) достигается различными способами. Разрабатываются, например, опорные конструкции, обладающие радиопрозрачностью, или предлагаются специальные профили опорных конструкций, которые обеспечивают переизлучение рассеянной на них энергии по наиболее «безопасным» направлениям [1]. Сложности оценки этих возмущающих воздействий на этапе проектирования могут быть преодолены использованием конечно-элементного метода моделирования.

Постановка задачи

Конечно-элементное описание отражателя антенны позволяет представить векторы электромагнитного поля \mathbf{E} и \mathbf{H} совокупностью компонент, формируемых отдельными фрагментами излучающей поверхности зеркала, являющимися конечными элементами (КЭ) ее разбиения.

Разбиение излучающей поверхности зеркала на КЭ может быть проведено растровым методом [2] или с использованием триангуляции Делоне [3]. В первом случае в результате сечения из-

лучающей поверхности параболического зеркала взаимно перпендикулярными плоскостями образуется сетка с узлами в точках взаимного пересечения этих плоскостей с поверхностью. Далее полученные координаты узловых точек могут быть использованы для формирования конечных излучающих элементов, близких к квадратным, или треугольных элементов, составляющих эти квадратные элементы. Во втором случае разбиение позволяет получить треугольные излучающие элементы, близкие к равносторонним, и уточнить геометрическую модель антенны.

Зная геометрические характеристики КЭ, можно определить центры их излучения и, используя справедливый для данного типа антенн метод геометрической оптики, оценить интервалы углов, в пределах которых затеняется излучение каждого КЭ [4].

Решение проблемы оценки и минимизации возмущающего воздействия рупора

Рассмотрим параболическую антенну с рупорным облучателем, геометрическая модель которой представлена в декартовой системе координат на рис. 2.

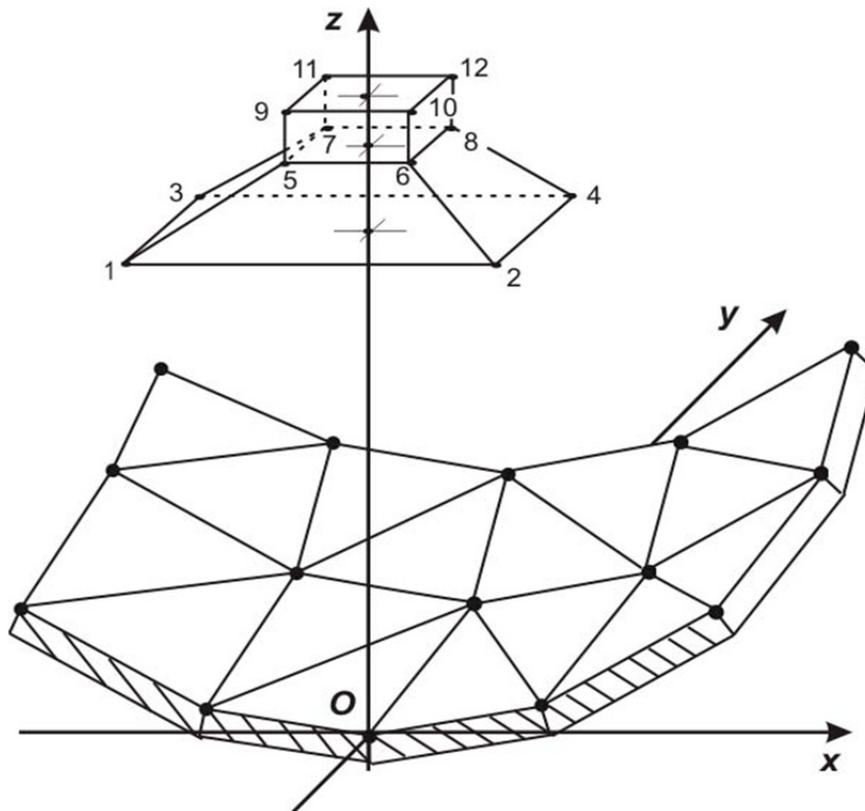


Рис. 2. Геометрическая модель параболической антенны с рупорным облучателем

Расчеты могут быть значительно упрощены с учетом того, что пространственная диаграмма направленности (ДН) антенны $F(\phi, \theta)$ с достаточной для практики точностью может быть представлена произведением функций, описывающих ее сечения в главных плоскостях [5]:

$$F(\phi, \theta) = F(\phi) \cdot F(\theta), \quad (1)$$

где $F(\phi)$, $F(\theta)$ – диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно; ϕ , θ – углы относительно оси антенны соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

С учетом такого представления интервалы углов затенения зеркала рупорным облучателем в каждой из плоскостей могут быть получены с помощью проекций затеняющего объекта на соответствующую плоскость. Так, например, проекция рупорного облучателя на плоскость xOz (рис. 3) позволяет определить интервалы углов затенения зеркала в горизонтальной плоскости.

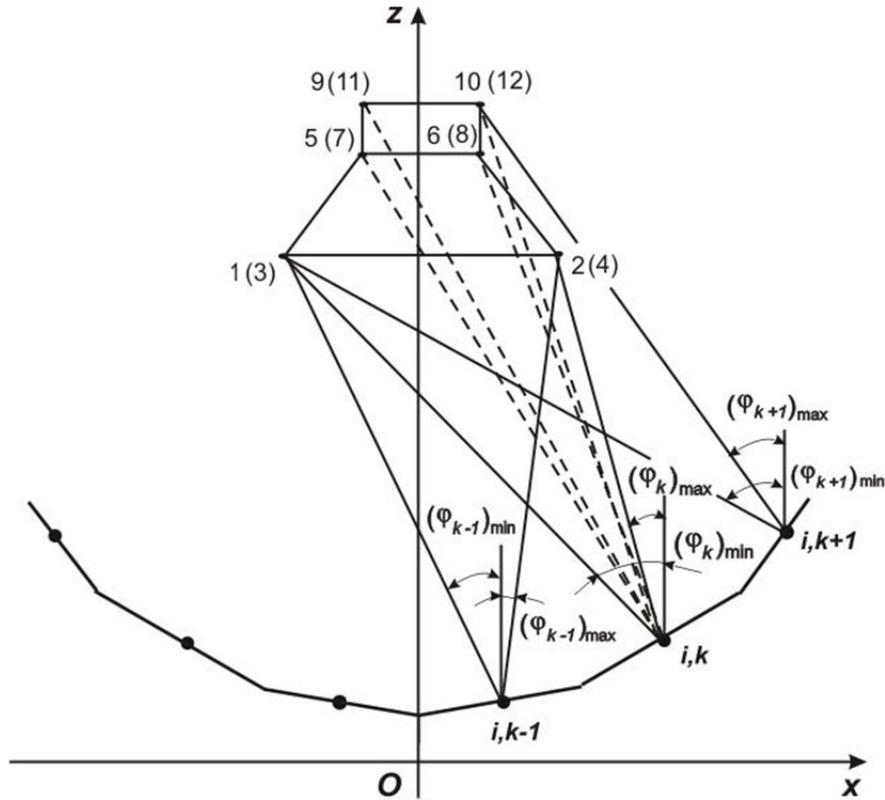


Рис. 3. Проекции рупорного облучателя и сечения излучающей поверхности антенны на плоскость xOz

На рис. 3 приняты следующие обозначения: i – индексы строк излучающих элементов; k – индексы столбцов излучающих элементов; $(\phi_{k-1})_{\min}$, $(\phi_{k-1})_{\max}$, $(\phi_k)_{\min}$, $(\phi_k)_{\max}$, $(\phi_{k+1})_{\min}$, $(\phi_{k+1})_{\max}$ – минимальный и максимальный углы наблюдения узлов ребер затеняющего объекта в горизонтальной плоскости из центров излучающих элементов $k-1$, k и $k+1$ строки i ; числа $1 \dots 12$ – номера узлов ребер затеняющего объекта.

При расчете главного сечения ДН антенны в горизонтальной плоскости $F(\phi)$ необходимо задать угловое положение точки наблюдения в вертикальной плоскости $\theta = \theta_T = 0^0$ и для определения углов затенения излучения зеркала в горизонтальной плоскости воспользоваться формулой (1), придав текущим координатам ребер x_T и z_T значения координат рассматриваемых узловых точек.

Из рис. 3 видно, что минимальный и максимальный углы наблюдения текущих точек ребер затеняющего объекта определяются их узловыми точками 1, 2, 5, 6, 9 и 10. Таким образом, совокупность угловых положений этих точек определяет множество S_ϕ возможных углов затенения излучения зеркала в горизонтальной плоскости.

Так как множество S_ϕ конечно [4], то его точная верхняя граница $\sup S_\phi$ равна наибольшему числу, принадлежащему S_ϕ : $\max S_\phi$, а точная нижняя граница $\inf S_\phi$ равна $\min S_\phi$. С учетом этого интервал углов затенения $\phi_{\min} \leq \phi \leq \phi_{\max}$ является ограниченным замкнутым интервалом $[\phi_{\min}, \phi_{\max}]$.

Для определения границ этого интервала $\phi_{\min} = \min S_\phi$ и $\phi_{\max} = \max S_\phi$ могут быть использованы любые вычислительные методы. Например, в оболочке MatLAB из угловых положений ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_5 , ϕ_6 , ϕ_9 и ϕ_{10} узловых точек 1, 2, 5, 6, 9 и 10 (см. рис. 3) может быть сформирована матрица-строка, минимальные и максимальные элементы которой определяются с помощью стандартных функций MatLAB \min и \max . Из рис. 3 видно, что для каждого излучающего элемента характерны свои интервалы затенения. Так, для излучающих элементов $i, k-1$ и i, k нижняя и верхняя границы затенения определяются как $\phi_{\min} = \phi_1$ и $\phi_{\max} = \phi_2$ соответственно.

При еще большем отклонении излучающего центра от оси антенны, например, как у элемента $i, k + 1$ (см. рис. 3), нижняя граница затенения определяется, как и раньше, $\phi_{\min} = \phi_1$, а верхняя уже составляет $\phi_{\max} = \phi_{10}$.

Угловые интервалы затенения рупором излучения зеркальной антенны в вертикальной плоскости $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$ могут быть найдены по той же методике. Следует также обратить внимание [2], что при расчете электрических составляющих электромагнитного поля, создаваемых в точке наблюдения гладкой криволинейной излучающей поверхностью, особое значение придается оценке характеристик рассеяния граней гладкой части и ребер внешних граней, образующих кромку излучающей поверхности при их возбуждении электромагнитной волной облучателя, падающей под произвольным углом.

Угловые интервалы затенения зеркала в горизонтальной и вертикальной плоскостях определяются соответствующими максимальными ϕ_{\max} или θ_{\max} и минимальными ϕ_{\min} или θ_{\min} угловыми положениями точек граней затеняющего объекта для каждого заданного углового положения θ в вертикальной или ϕ в горизонтальной плоскости соответственно. Для плоских граней такие положения определяются точками ребер этих граней.

Произвольные углы наблюдения текущих точек ребер затеняющего объекта из центров излучающих элементов в соответствии с принятыми обозначениями могут быть определены по следующим формулам:

$$\phi_T = \arctg \left(\frac{x_T - x_{ik}}{z_T - z_{ik}} \right), \quad (2)$$

$$\theta_T = \arctg \left(\frac{y_T - y_{ik}}{z_T - z_{ik}} \right), \quad (3)$$

где ϕ_T, θ_T – углы наблюдения текущих точек ребер в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно; x_T, y_T, z_T – координаты текущих точек ребер; x_{ik}, y_{ik}, z_{ik} – координаты центров излучающих элементов с индексами i и k . При этом полагается, что $z_T > z_{ik}$.

Для ребер граней объекта затенения (в нашем случае рупорного излучателя), параллельных осям координат, все текущие точки с координатами x_T, y_T и z_T определены координатами узловых точек 5...12.

При произвольной ориентации ребер, например, определяемых узловыми точками 1...8 (см. рис. 3), координаты их текущих точек могут быть определены из уравнения прямой, проходящей через две узловые точки ребра. Для ребра 1–5 расчетная формула [4] примет вид

$$\frac{x_T - x_1}{x_5 - x_1} = \frac{y_T - y_1}{y_5 - y_1} = \frac{z_T - z_1}{z_5 - z_1}, \quad (4)$$

где $x_1, y_1, z_1, x_5, y_5, z_5$ – координаты узловых точек 1 и 5 ребра 1–5.

Из уравнения (4) получим

$$z_T = z_1 + \frac{(y_T - y_1)(z_5 - z_1)}{y_5 - y_1}. \quad (5)$$

В свою очередь из формулы (3) следует, что при заданном угле θ_T

$$z_T = z_{ik} + \frac{(y_T - y_{ik})}{\text{tg } \theta_T}. \quad (6)$$

Путем совместного решения уравнений (5) и (6) можно получить расчетное выражение для координаты y_T , которое сводится к виду

$$y_T = \frac{[(z_{ik} - z_1)(y_5 - y_1) + y_1(z_5 - z_1)] \text{tg } \theta_T - y_{ik}(y_5 - y_1)}{(z_5 - z_1) \text{tg } \theta_T - (y_5 - y_1)}. \quad (7)$$

Таким образом, с учетом выражения (7) для заданного угла наблюдения в вертикальной плоскости θ_T по формуле (5) может быть определена и соответствующая координата z_T .

В свою очередь, с учетом знания y_T координата x_T может быть получена из уравнения (4):

$$x_T = x_1 + \frac{(y_T - y_1)(x_5 - x_1)}{y_5 - y_1}. \quad (8)$$

Зная x_T и z_T , по формуле (2) легко определить угол наблюдения этой текущей точки в горизонтальной плоскости из центров излучающих элементов с индексами i и k .

Формулы для расчета углов наблюдения текущих точек в вертикальной плоскости при заданном угле ϕ_T в горизонтальной плоскости могут быть получены аналогично. Расчетные выражения в этом случае примут вид

$$z_T = z_1 + \frac{(x_T - x_1)(z_5 - z_1)}{x_5 - x_1}, \quad (9)$$

$$x_T = \frac{[(z_{ik} - z_1)(x_5 - x_1) + x_1(z_5 - z_1)] \operatorname{tg} \phi_T - x_{ik}(x_5 - x_1)}{(z_5 - z_1) \operatorname{tg} \phi_T - (x_5 - x_1)}, \quad (10)$$

$$y_T = y_1 + \frac{(x_T - x_1)(y_5 - y_1)}{x_5 - x_1}. \quad (11)$$

Зная y_T и z_T , по формуле (3) легко определить угол наблюдения этой текущей точки в вертикальной плоскости из центров излучающих элементов с индексами i и k .

Полученные формулы оказываются полезными при расчете ДН антенны в любом ее сечении с учетом затенения зеркалами объектами с плоскими гранями и произвольно ориентированными ребрами.

Компоненты общего поля в точке наблюдения при этом получаются в результате векторного сложения сферических компонент поля каждой грани и каждого краевого ребра кромки излучающей поверхности антенны относительно глобальной системы координат. Зная интервалы наблюдения апертуры рупорного облучателя в горизонтальной $\phi_{\min} < \phi < \phi_{\max}$ и вертикальной $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$ плоскостях, при суммировании компонент поля в точке наблюдения легко учесть те из них, которые соответствуют полученным интервалам. Таким образом, по предложенной методике можно определить поле в точке наблюдения с учетом затенения, а также поле, попадающее непосредственно в облучатель.

Анализ результатов

Расчеты с использованием конечно-элементной модели [6, 7] и предложенной методики были проведены для зеркальной параболической антенны диаметром $D = 1$ м с фокусным расстоянием $f = 0,35$ м и пирамидальным рупорным облучателем длиной $R = 0,021$ м с размерами апертуры $a_p = 0,04$ м, $b_p = 0,03$ м, с питающим прямоугольным волноводом размерами $a = 0,023$ м, $b = 0,01$ при длине волны $\lambda = 0,03$ м.

Полученные результаты позволили установить (рис. 4) зависимости уровня поля в точке от угла ее наблюдения без затенения (см. рис. 4, кривая 1), потерянного из-за затенения (см. рис. 4, кривая 2), нормированного к его максимальному значению в отсутствии затенения.

Это дало возможность оценить долю электромагнитной энергии, которая попадает не в точку наблюдения, а возвращается в рупорный излучатель, через коэффициент реакции зеркала k_p [7]. Он численно равен уровню поля, потерянного в точке наблюдения из-за его попадания в рупор и нормированному к его максимальному значению в отсутствии затенения. Для заданных параметров антенны $k_p = 0,02$ (см. рис. 4, кривая 3).

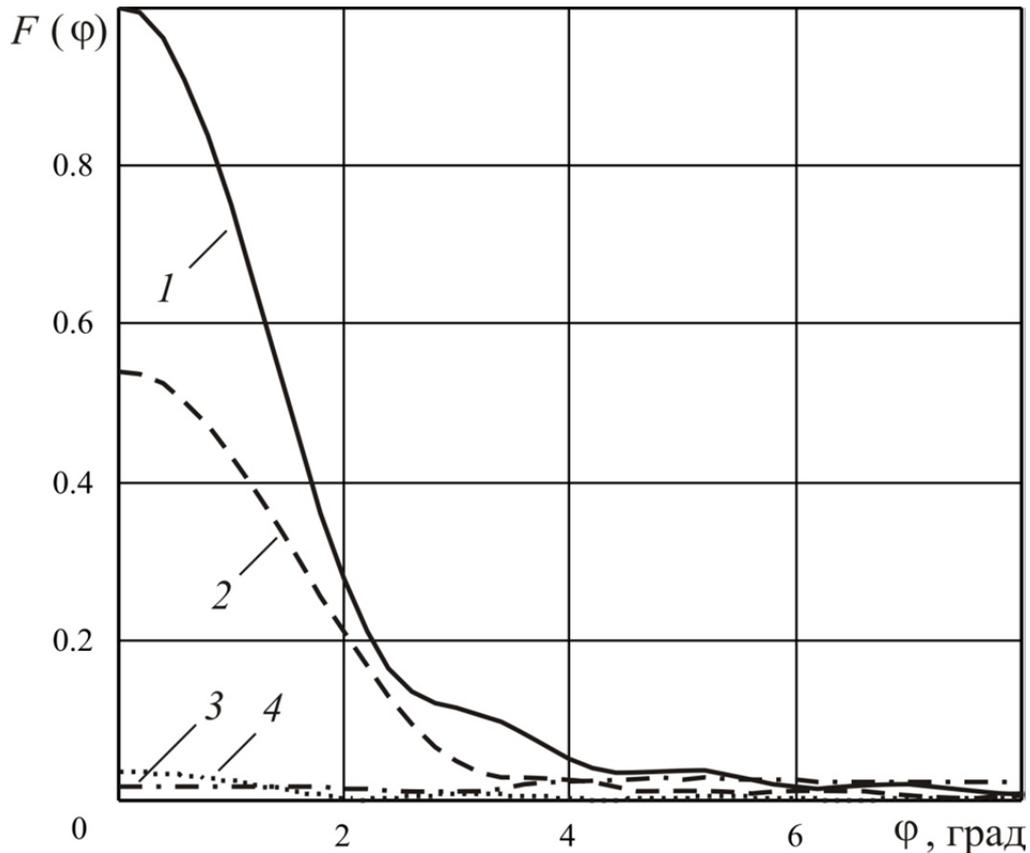


Рис. 4. Зависимости относительного уровня поля в точке от угла ее наблюдения без затенения (1), потерянного из-за затенения (2), потерянного в облучателе (3) и переизлученного элементами крепления (4)

Для обеспечения максимальной помехозащищенности параболической антенны выберем четырехопорную конструкцию крепления облучателя (см. рис. 1). При этом ДН переизлучения такой конструкции $F(\theta)$ для цилиндрических опор может быть описана следующим приближенным выражением [1]:

$$F(\theta) = \frac{\sin(u_1 + u_2)}{2 \cdot (u_1 + u_2)} e^{i u_1} + \frac{\sin(u_1 - u_2)}{2 \cdot (u_1 - u_2)} e^{-i u_1}, \quad (12)$$

где $u_1 = 2^{-1,5} \beta L \sin \theta \cos \gamma$; $u_2 = \beta L \sin^2(\theta / 2) \sin \gamma$; $\beta = 2\pi / \lambda$ – коэффициент распространения; λ – длина волны; L – длина каждой опоры; θ – угол относительно оси излучения антенны; γ – угол отклонения плоскости оси опоры относительно плоскости апертуры антенны.

Результаты расчета ДН $F(\theta)$ по формуле (12) для рассмотренной ранее конструкции антенны при $L = 20\lambda$ и $\gamma = 20^\circ$, с учетом того, что уровень излучения крепления, приведенный к уровню излучения антенны в направлении максимума ДН при размере сечения опоры $0,5\lambda$, составляет -29 дБ [1], приведены на рис. 3 (кривая 4). Как видно из рис. 4 (кривая 4), в пределах главного лепестка ДН антенны излучение опорной конструкции оказывается незначительным (-29 дБ), а вне его паразитное излучение оказывается пренебрежимо малым (не превышает -43 дБ).

Заключение

Рассмотренная процедура оценки электромагнитного взаимодействия зеркала, рупорного облучателя и элементов его крепления, основанная на совместном использовании предложенных конечно-элементных моделей и известных приближенных решений, позволяет решить проблему оценки и минимизации влияния электромагнитных возмущающих воздействий на характеристики излучения параболической антенны и может быть использована в проектировании помехозащищенных антенн.

Список литературы

1. Фролов, О. П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи / О. П. Фролов, В. П. Вальд. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 496 с.
2. Якимов, А. Н. Проектирование микроволновых антенн с учетом внешних воздействий: монография / А. Н. Якимов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2004. – 260 с.
3. Балухов, О. Н. Построение геометрической модели антенны с использованием триангуляции Делоне / О. Н. Балухов, А. Н. Якимов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1. – С. 109–117.
4. Якимов, А. Н. Конечно-элементный подход к моделированию затенения зеркала антенны / А. Н. Якимов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2007. – Т 1. – С. 63–65.
5. Сазонов, Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д. М. Сазонов. – М. : Высш. шк., 1988. – 432 с.
6. Якимов, А. Н. Моделирование влияния зеркала антенны на характеристики ее облучателя / А. Н. Якимов, О. Н. Балухов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т 1. – С. 358–361.
7. Якимов, А. Н. Оценка влияния реакции зеркала антенны на согласование облучателя // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 105–108.

УДК 621.391.677: 519.711.3

Якимов, А. Н.

Моделирование электромагнитных взаимодействий в параболической антенне / А. Н. Якимов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 21–27.

Якимов Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 56-43-46
E-mail: y_alder@mail.ru

Yakimov Aleksandr Nikolaevich

doctor of technical science, professor,
sub-department of construction
and the production of radio equipment
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Моделируется влияние электромагнитного взаимодействия зеркала, рупорного облучателя и элементов его крепления на характеристики излучения параболической антенны. Рассмотрена процедура оценки такого влияния, основанная на совместном использовании предложенных конечно-элементных моделей и известных приближенных решений. Проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: параболическая антенна, моделирование, электромагнитное взаимодействие, излучение.

Abstract. Influence of electromagnetic interaction of a mirror, irradiator and elements of its fastening on characteristics of radiation of a parabolic antenna is modelled. Procedure of an estimation of such influence, based on sharing of the offered is final-element models and the known approached decisions is considered. The analysis of the received results is carried out.

Key words: parabolic antenna, modelling, electromagnetic interaction, radiation.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

А. М. Михеев, И. Ю. Семочкина

Мониторинг и контроль состояния изделий ракетно-космической техники (РКТ), а также протекающих в них физических процессов вызывает необходимость построения информационных систем поддержки научного эксперимента. Исследуемые изделия характеризуются разнообразием подсистем и протекающих в них процессов разной физической, химической и другой природы, что позволяет отнести к классу сложных технических систем. Особенность сложных систем заключается в том, что теоретические представления о механизме явлений, лежащих в основе протекающих в них процессов, зачастую недостаточны, соответственно построение их адекватной математической модели весьма затруднительно, а на протекающие в таких системах процессы оказывает влияние большое число факторов [1, 2].

Для повышения степени адекватности математических моделей исследуемых систем и протекающих в них процессов необходим научный эксперимент. Высокая стоимость и нередко длительное время подготовки и проведения эксперимента заставляют уделять серьезное внимание вопросам его рациональной организации, анализу и обеспечению необходимой степени достоверности получаемых результатов. Для повышения эффективности проведения экспериментальных исследований следует использовать положения теории научного планирования эксперимента, факторного анализа, методов математической статистики, прогнозирования и поиска оптимальных решений.

Получение экспериментальных данных обеспечивает информационно-измерительная система, которая в реальных условиях имеет распределенную структуру, включающую с себя интеллектуальные многофункциональные датчики, унифицирующие измерительные преобразователи, средства хранения и цифровой обработки информации, соединенные между собой каналами связи.

Полученная измерительная информация наряду с накопленной ранее информацией и синтезированными на ее основе математическими моделями используется для идентификации состояний исследуемой сложной технической системы и протекающих в ней физических процессов и уточнения соответствующих математических моделей.

Отображение пространственной инфраструктуры данных существенно влияет на адекватность решений, принимаемых при управлении состоянием РКТ, соответственно формирование пространственной инфраструктуры данных должно стать неотъемлемым элементом интеллектуального анализа данных о состоянии РКТ.

Последние достижения в области передачи и визуализации информации привели к тому, что 3D-информация все более активно включается в реальные приложения, начиная от индустрии развлечений до производства.

Применение 3D-моделей для отображения пространственной инфраструктуры данных позволяет сделать этот процесс более наглядным и гармоничным. Они могут дать более полное представление о РКТ, нежели экранные формы и мнемосхемы, давая возможности просмотра объектов с любой точки пространства.

Применение 3D-моделей позволяет упростить процессы планирования, контроля и принятия решений, что особенно важно при контроле элементов РКТ.

3D-модели позволяют проводить пространственный анализ, что помогает лучше контролировать РКТ, легче ориентироваться в изменяющейся ситуации и прогнозировать ее развитие.

Таким образом, организации мониторинга и контроля текущего состояния РКТ с целью уточнения их математических и информационно-структурных моделей для решения задач управления их состоянием и планирования адекватных мер по обеспечению безопасного функционирования является актуальной.

В процессе проектирования и разработки ИС мониторинга и контроля удаленного РКТ для обеспечения возможности предоставления консолидированной информации о РКТ использовались алгоритмы интеллектуального анализа данных *Data Mining* [3], для визуального контроля РКТ было принято решение использовать возможности 3D-моделирования и графических библиотек для визуализации моделей.

В процессе разработки ИС мониторинга и контроля РКТ с распределенной структурой, включающей в себя интеллектуальные многофункциональные датчики, унифицирующие измерительные преобразователи, средства хранения и цифровой обработки информации, соединенные каналами связи, были обеспечены основные функциональные возможности:

- сбор и обработка измерительной информации;
- обмен данными между удаленным объектом и информационной системой;
- идентификация состояний исследуемого физического объекта по совокупности накопленной информации с помощью нейронной сети;
- удаленный, визуальный контроль 3D-модели с предоставлением консолидированной информации о состоянии физического объекта;
- визуализация 3D-модели, которая должна отображать трехмерные графические объекты при ориентации на современные программные среды, привязывать к графическим объектам произвольную информацию, предоставлять возможность использования графических материалов, накопившихся при работе с другими графическими системами.

Обеспечение необходимых сервисных возможностей:

- полный и удобный доступ к информации;
- дистанционное управление измерительным экспериментом.

Сбор и обработку измерительной информации обеспечивает информационно-измерительная система. Для возможности предоставления обобщенной и консолидированной информации о состоянии РКТ использовались алгоритмы интеллектуального анализа данных [3].

Для реализации методов прогнозирования состояния РКТ необходимо накопить измерительную информацию от объекта за длительный промежуток времени. Для решения данной задачи в информационной системе поддержки удаленного эксперимента в качестве хранилища данных была разработана реляционная база данных [4, 5].

Разработка хранилища данных, полученных от удаленного источника информации, позволяет осуществить накопление измерительной информации за длительный промежуток времени для возможности дальнейшего прогнозирования состояния контролируемого объекта. Однако полезной измерительной информацией, которая, возможно, является необходимой для прогнозирования состояния исследуемого объекта, в хранилище данных информационной системы поддержки удаленного эксперимента является часть от всей накопленной информации. Для выявления той полезной информации, по которой возможно произвести идентификацию и прогнозирование дальнейшего состояния исследуемого объекта, было принято решение использовать технологии предобработки и трансформации данных, а затем технологию *Data Mining*, выявление полезной информации в «сырых данных».

Общий принцип построения решений, использующих *Data Mining*, заключается в создании соответствующей модели, в ее обучении и тестировании, а также в разработке приложения, применяющего созданную модель для прогнозирования значений неизвестных атрибутов. При этом процессы создания и обучения модели включают обязательное использование большого по объему набора данных, для которых известны значения атрибутов и прогнозирование которых предполагается в данной модели. Перед созданием модели, предназначенной для реальной эксплуатации, иногда создается ее прототип, обучаемый на наборе данных меньшего объема, а другой набор предназначен для тестирования созданной модели или прототипа. После подготовки исходных наборов данных выбирается алгоритм *Data Mining*, параметры работы алгоритма и входные поля.

Визуализация 3D-модели РКТ осуществляется за счет использования функций *OpenGL*, реализованных в библиотеке *Tao Framework*. В качестве программной платформы для разработки использовалась *MS Visual Studio 2010* и язык программирования *C#* [6].

Tao Framework – это свободно распространяемая библиотека с открытым исходным кодом, предназначенная для быстрой и удобной разработки кросс-платформенного мультимедийного программного обеспечения в среде *.NET Framework*. В состав библиотеки на данный момент входят все современные средства, которые были использованы в ходе разработки системы визуализации 3D-моделей: реализация библиотеки *OpenGL*, реализация библиотеки *FreeGlut*, содержащей все самые новые функции этой библиотеки, библиотека *DevIL* (взятая в основу стандарта *OpenIL – Open Image Library*) и многие другие.

В составе *Tao Framework* были использованы следующие библиотеки:

- *OpenGL 2.1.0.12* – свободно распространяемый аппаратно-программный интерфейс для визуализации 2D- и 3D-графики;
- *FreeGLUT 2.4.0.2* – библиотека с открытым исходным кодом, являющаяся альтернативой библиотеке *GLUT (OpenGL Utility Toolkit)*;
- *DevIL 1.6.8.3* (она же *OpenIL*) – кроссплатформенная библиотека, реализующая программный интерфейс для работы с изображениями. На данный момент библиотека поддерживает работу с изображениями 43 форматов для чтения и 17 форматов для записи;
- *PhysFS 1.0.1.2* – библиотека для работы с вводом / выводом файловой системы, а также различного вида архивами на основе собственного API;
- *SDL 1.2.13.0* – кроссплатформенная мультимедийная библиотека, активно используемая для написания мультимедийных приложений в операционной системе;
- *GNU/Linux ODE 0.9.0.0* – свободно распространяемый физический программный интерфейс, главной особенностью которого является реализация системы динамики абсолютно твердого тела и система обнаружения столкновений;
- *FreeType 2.3.5.0* – библиотека, реализующая растеризацию шрифтов.

Разработка исходной модели для системы визуализации 3D-моделей осуществляется с помощью программной платформы *3D Studio MAX*.

Термин «объект» в *3D STUDIO MAX* относится к любым элементам виртуального трехмерного мира, которые могут включаться в состав сцен и к которым могут применяться преобразования и модификаторы. Объекты *3D STUDIO MAX* являются параметрическими, т.е. при создании приобретают определенный набор характеристических параметров, таких как координаты положения объекта, его размеры по длине, ширине и высоте, число сегментов или сторон и т.п. Эти параметры в дальнейшем можно легко изменять, поэтому в процессе создания объектов необязательно стремиться к обеспечению высокой точности.

На рис. 1 изображены основные классы, составляющие программную реализацию. Их можно разделить по следующим признакам:

- классы модели предметной области (*GeometryModel*, *GeometryPart*, *Face*, *TextureFaces*, *Vertex*);
- классы, отвечающие за декодирование (парсинг) исходной информации, на основе которой строится модель (*ModelHelper*–);
- классы графического интерфейса (*MainForm*).

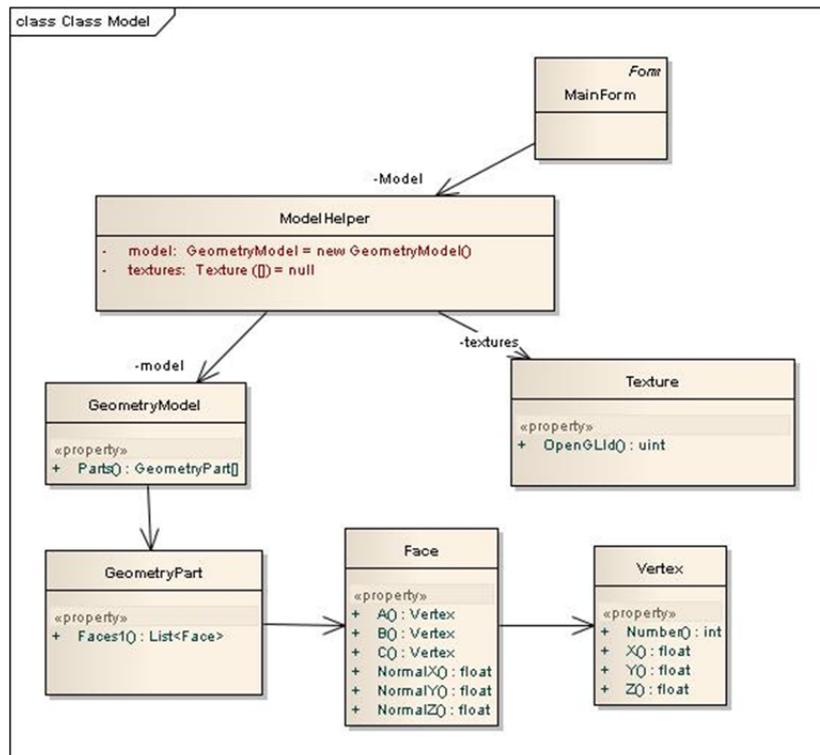


Рис. 1. Диаграмма классов

Класс *GeometryModel* содержит в себе всю информацию о 3D-модели – коллекцию *GeometryPart* частей геометрии, которые в свою очередь содержат информацию о полигонах (*Face*) и текстурах полигонов (*TextureFaces*).

Класс *Face* – содержит информацию о полигоне в виде трех вершин, которые являются членами класса (свойствами) с типом *Vertex* (*Vertex* – вершина полигона). У данного класса есть три метода для расчета нормалей.

Класс *Vertex* – хранит информацию об одной вершине с координатами в трехмерном пространстве *X, Y, Z*.

Класс *ModelHelper* обеспечивает декодирование (парсинг) файла 3D-модели формата *.ase*, создание экземпляра объекта *GeometryModel* с последующей визуализацией в рамках оконного интерфейса *MainForm*, задающего параметры 3D-объекта в виде смещения по осям. Визуализация 3D-модели РКТ осуществляется через автоматизированное рабочее место (АРМ). Для контроля состояния РКТ через АРМ необходимо:

- 1) разработать исходную 3D-модель для системы визуализации по средствам программной платформы *3D Studio MAX*;
- 2) экспортировать 3D-модель из *3D Studio MAX* в файл экспорта обстановки *ASCII Autodesk (Autodesk ASCII Scene Export File, ase)*;
- 3) загрузить 3D-модель в АРМ;
- 4) привязать семантическую информацию к месту непосредственного мониторинга состояния РКТ;
- 5) осуществить контроль параметров РКТ через графический интерфейс АРМ.

На рис. 2 изображена динамика механизма запуска АРМ.



Рис. 2. Динамика механизма запуска АРМ

Используемые аппаратные и программные платформы обеспечивают сохранность и целостность информации при полном или частичном отключении электропитания, аварии сетей телекоммуникации, полном или частичном отказе технических средств.

Список литературы

1. Имитационное моделирование процедуры нейросетевой идентификации двумерного радиолокационного сигнала / В. А. Северин, А. А. Кузнецов, М. Ю. Михеев, И. Ю. Семочкина // Вопросы радиоэлектроники. – 2009. – Т. 4, № 4. – С. 114–120.
2. Барсеягин, А. А. Технологии анализа данных. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А. А. Барсеягин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – С. 384.
3. Эспозито, Д. Microsoft ASP.NET 2.0 базовый курс / Д. Эспозито. – М. : Вильямс, 2007. – С. 688.
4. Юрков, Н. К. Моделирование развития трещин в проводниках печатных плат как последствий технологических дефектов / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 140–143.
5. Моделирование нестационарных тепловых полей электрорадиоэлементов / Н. К. Юрков, В. Б. Алмаметов, А. В. Авдеев, А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, В. Я. Баннов // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – Т. 2. – С. 446–449.
6. Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения : моногр. / науч. ред. А. Г. Дмитриенко. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2012. – 164 с.

УДК 001.891.5

Михеев, А. М.

3D-моделирование в интеллектуальной информационной системе поддержки научного эксперимента для систем мониторинга и контроля изделий ракетно-космической техники / А. М. Михеев, И. Ю. Семочкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 28–32.

Михеев Алексей Михайлович

аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: dagas_88@mail.ru

Mikheev Aleksey Mikhailovich

postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Семочкина Ирина Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, 1а/11)
89050158990
E-mail: ius@pgta.ru

Semochkina Irina Yur'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies and systems,
Penza State University of Technology
(440039, 1a/11 Baydukova lane/Gagarina street,
Penza, Russia)

Аннотация. Изделия ракетно-космической техники с точки зрения системного подхода относятся к классу сложных систем. Рассмотрен подход к построению систем мониторинга и контроля изделий ракетно-космической техники как системам поддержки научного эксперимента. Для идентификации состояний изделий ракетно-космической техники использован аппарат искусственных нейронных сетей. Разработаны UML-модели интеллектуальной информационной системы поддержки научного эксперимента, обоснован выбор программной платформы ASP.NET MVC и объектноориентированного языка программирования C# для реализации механизма визуализации.

Ключевые слова: информационная система, технически сложные объекты, планирование эксперимента, мониторинг и контроль, UML, 3D-моделирование.

Abstract. Products rocket and space technology from the perspective of system approach belong to the class of complex systems. The approach to the construction of systems for monitoring and control of rocket and space technology as a support system of scientific experiment was considered. To identify states rocket and space technology units artificial neural networks are used. UML-models are developed, software platform ASP.NET MVC and objectoriented programming language C# are chosen.

Key words: information system, complex systems, experiment planning, monitoring and control, UML, 3D-modeling.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 378.147

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ АМОРТИЗАЦИИ РЭС

А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров

Введение

На конструкцию радиоэлектронных средств (РЭС) могут воздействовать внутренние и внешние динамические возбуждающие силы, причиной которых являются работающие электродвигатели, приводы антенны, различные электромеханические преобразователи, сейсмические, взрывные и иные внешние механические силы.

По статистическим данным, до 30 % всех отказов РЭС происходит по причине воздействия ударов и вибрации [1]. Защита РЭС от механического воздействия может осуществляться путем повышения надежности и жесткости конструкций или применением систем виброизоляции блоков и устройств РЭС.

При конструировании РЭС необходимо стремиться к тому, чтобы система амортизации имела минимальное число связанных форм колебаний и чтобы они находились вне заданного диапазона действующих вибраций, не имели близких друг к другу значений, а коэффициент динамичности не превышал допустимых значений.

Анализ современного состояния вопроса

Расчет системы амортизации можно проводить вручную, руководствуясь существующими методиками [2, 3], а можно с помощью специализированного программного обеспечения, что значительно сэкономит время проведения расчетов.

В настоящее время известна программа «Vibroizolation», разработанная на кафедре «Технология аэрокосмического приборостроения» Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения [4].

Исходными данными для работы программы являются: масса блока, его габаритные размеры, координаты амортизаторов, диапазон частот, виброускорение и параметры материала амортизатора.

По результатам работы программы можно сделать вывод: подходит или нет выбранная группа амортизаторов. Расчет идет по схеме амортизации с двумя плоскостями симметрии и четырьмя амортизаторами.

Достоинства программы: простота использования, быстрая работа, рассчитана на работу в распространенной операционной системе – Windows 95/98/Vista/XP. Недостатки системы: статический расчет только одной схемы амортизации, отсутствие расчета компенсирующих прокладок, отсутствие базы данных на существующие амортизаторы.

Более совершенная программа расчета систем амортизации «ПРСА» бортовых РЭС разработана на кафедре «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета [5].

Функциональные возможности этой программы во многом схожи. Их достоинства и недостатки в основном повторяются. Основное отличие программы «ПРСА» заключается в том, что рассчитывается схема установки с одной плоскостью симметрии на трех амортизаторах, а также проводится дополнительный расчет компенсирующих прокладок под устанавливаемые амортизаторы.

В связи с тем, что существующие программные продукты не обеспечивают необходимую функциональность при проведении расчетов систем амортизации бортовых РЭС, то следует разработать программный комплекс, который позволит автоматизировать выполнение следующих операций:

- 1) проводить расчет наиболее распространенных схем амортизации;
- 2) проводить не только статический, но и динамический расчеты схем амортизации;
- 3) подключать базу данных на существующие типы амортизаторов;
- 4) проводить расчет компенсирующих прокладок амортизаторов.

Наличие программного обеспечения с указанными функциональными возможностями позволит инженеру проводить все необходимые расчеты при проектировании систем амортизации бортовых РЭС. Также необходимо разработать графический интерфейс для обеспечения удобства работы пользователя.

Математический аппарат

Различают статически определимые и статически неопределимые системы амортизации. Статически определимыми системами амортизации являются системы, состоящие из трех амортизаторов, не расположенных на одной прямой; силы реакции амортизаторов не зависят от их упругих свойств и однозначно определяются из трех уравнений статики. В практических системах амортизации по конструктивным соображениям число амортизаторов равно четырем или более, поэтому такие системы амортизации являются статически неопределимыми.

Расчет системы амортизации включает в себя еще и определение сил реакций амортизаторов и величин статического прогиба, по которым с учетом возможного влияния дестабилизирующих факторов выбирают нужный типоразмер амортизатора.

Наиболее сложная часть расчета пространственных систем амортизации – определение силы реакции амортизаторов. Амортизаторы выбирают по методике схем однонаправленного нагружения, но с учетом всех направлений действия сил. В системах амортизации пространственного нагружения можно использовать только такие амортизаторы, которые гарантируют работу по осям X , Y , Z (АВД, АКСС, АПН, АСД, АР, АТ).

Силы реакции амортизаторов P_{ix} , P_{iy} , P_{iz} должны удовлетворять уравнениям

$$\sum_i^N P_{ix} = 9,81m_x; \quad \sum_i^N P_{iy} = 9,81m_y; \quad \sum_i^N P_{iz} = 9,81m_z;$$

$$\sum_i^N (P_{ix}y_i - P_{iy}x_i) = 0; \quad \sum_i^N (P_{iy}z_i - P_{iz}y_i) = 0; \quad \sum_i^N (P_{iz}x_i - P_{ix}z_i) = 0,$$

где m_i – компоненты массы по осям X , Y и Z ; x_i , y_i и z_i – координаты точки крепления к блоку i -го амортизатора.

При этом оси прямоугольной системы координат X , Y , Z направлены параллельно главным осям направления, одно из которых совпадает с осью амортизатора, а другие две перпендикулярны ей.

Подбор амортизаторов производят исходя из определения их жесткости и несущей способности в осевых направлениях P_x , P_y , P_z . При этом $P_{\min} \leq P_i \leq P_{\max}$.

При расстановке амортизаторов, следует учитывать, что большие по горизонтали расстояния от амортизаторов до их центра жесткости, лежащего на вертикали, проходящей через центр тяжести блока, приводят к высоким частотам собственных вращательных колебаний блока.

Расстановка амортизаторов должна быть симметричной, хотя бы относительно одной из главных центральных осей инерции амортизируемого блока.

Алгоритмическое обеспечение

Разработанное программное обеспечение позволяет выполнить расчет схем амортизации как с одной, так и с двумя плоскостями симметрии (на четырех амортизаторах), а также толщины компенсирующих прокладок, устанавливаемых под амортизаторы. Полученный результат можно вывести на монитор или распечатать.

Основная программа должна содержать перечень всех используемых модулей и несколько исполняемых операторов, обеспечивающих создание нужных окон и связь программы с Windows. Работоспособность программы обеспечивается кодом, содержащимся в отдельных модулях.

Модули расчета программного комплекса представляют собой внешние подключаемые модули общего назначения, разработанные в среде объектноориентированного программирования Borland Delphi 7.0. Модуль общего назначения – автономно компилируемая программная единица, включающая в себя различные компоненты интерфейсного раздела (типы, константы, переменные, процедуры и функции). Появление объектов в интерфейсной части делает их доступными для других модулей и основной программы.

Код процедур и функций располагается в исполняемой части модуля, которая может быть скрыта от пользователя.

Алгоритм программы расчета систем амортизации бортовых РЭС показан на рис. 1, а. Представленный алгоритм содержит несколько вложенных алгоритмов, описывающих работу соответствующих подпрограмм.

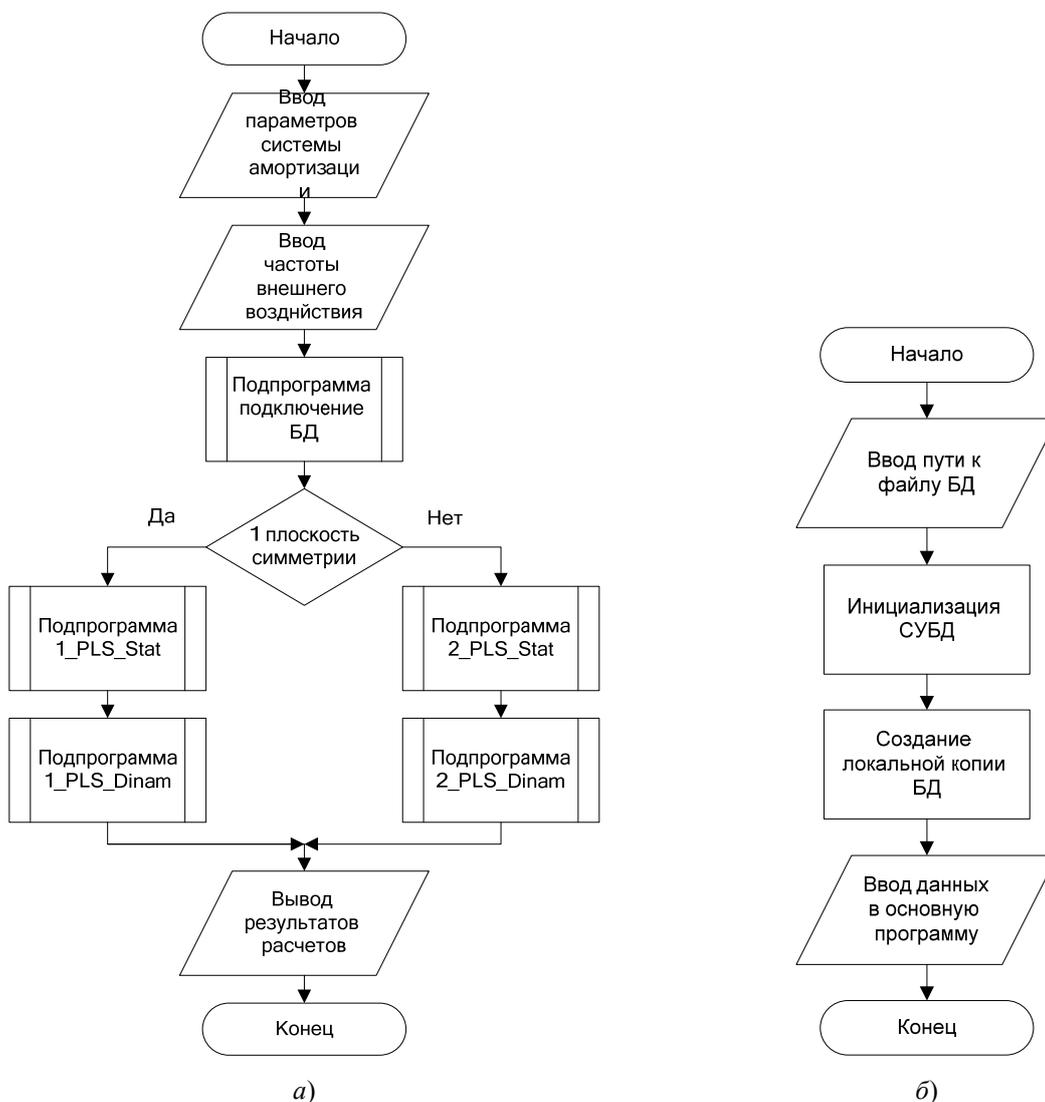


Рис. 1. Алгоритмическое обеспечение программы расчета систем амортизации бортовых РЭС: а – алгоритм основной программы; б – алгоритм подпрограммы инициализации базы данных

Основная программа включает в себя следующие подпрограммы, реализованные отдельными программными модулями:

- подпрограмма инициализации базы данных (алгоритм подпрограммы показан на рис. 1,б);
- подпрограмма статического расчета схемы амортизации с одной плоскостью симметрии (алгоритм подпрограммы показан на рис. 2,а);
- подпрограмма динамического расчета схемы амортизации с одной плоскостью симметрии (алгоритм подпрограммы показан на рис. 2,б);
- статического расчета схемы амортизации с двумя плоскостями симметрии (алгоритм подпрограммы показан на рис. 2,в);
- подпрограмма динамического расчета схемы амортизации с двумя плоскостями симметрии (алгоритм подпрограммы показан на рис. 2,г).

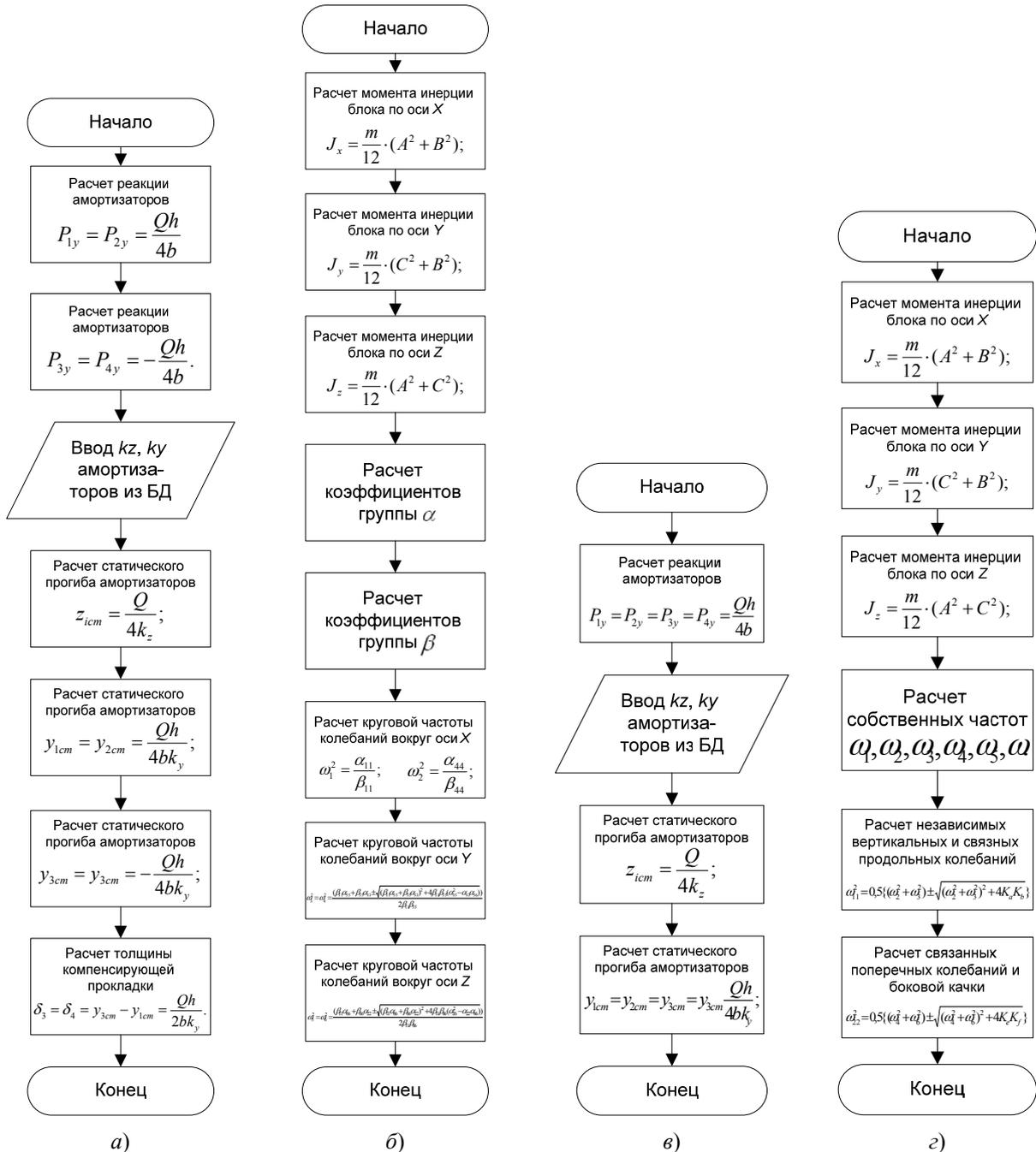


Рис. 2. Алгоритмическое обеспечение программы расчета систем амортизации бортовых РЭС:
 а – алгоритм подпрограммы 1_PLS_Stat; б – алгоритм подпрограммы 1_PLS_Dinam;
 в – алгоритм подпрограммы 2_PLS_Stat; г – алгоритм подпрограммы 2_PLS_Dinam

Важным достоинством разработанного программного обеспечения является возможность подключения базы данных на существующие типы амортизаторов, что существенно облегчает работу инженера по их поиску и подбору.

В разработанной программе вывод результатов расчета на экран реализован с помощью компонентов TstringGrid и Memo. Табличная форма представления информации принята основной формой, так как она позволяет компактно разместить данные, что существенно экономит пространство рабочей формы программы и позволяет пользователю лучше воспринимать их. Вывод на экран комментариев и прочей вспомогательной текстовой информации позволяет пользователю лучше ориентироваться в основных данных.

Генерируемый программным обеспечением отчет (компонент TSaveDialog) состоит из исходных данных, статического и динамического расчета системы амортизации.

Инженерная методика работы с программным обеспечением

Постоянное усложнение технических систем вызывает необходимость проведения их анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности. В США это обстоятельство было осознано еще в конце 70-х годов, когда BBC США предложили и реализовали Программу интегрированной компьютеризации производства ICAM (ICAM – Integrated Computer Aided Manufacturing), направленную на увеличение эффективности промышленных предприятий посредством широкого внедрения компьютерных (информационных) технологий.

Реализация программы ICAM потребовала создания адекватных методов анализа и проектирования производственных систем и способов обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами. Для удовлетворения этой потребности была разработана методология IDEF, позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем.

В настоящее время методология IDEF отражена и в стандарте ГОСТ Р 50.1.028-2001. Предложенная методика работы с программой расчета систем амортизации бортовых РЭС представлена в виде диаграммы IDEF0 на рис. 3. Последовательность выполняемых действий состоит из подключения базы данных (содержит информацию о параметрах современных амортизаторов), выбора конкретной схемы амортизации (либо с одной плоскостью симметрии, либо с двумя), проведения статического расчета (статический прогиб амортизаторов и толщина компенсирующей прокладки), проведения динамического расчета (определяются моменты инерции и жесткости амортизаторов, коэффициенты динамичности и др.) и анализа полученных параметров системы амортизации. Далее рассмотрим более подробно каждый из них.

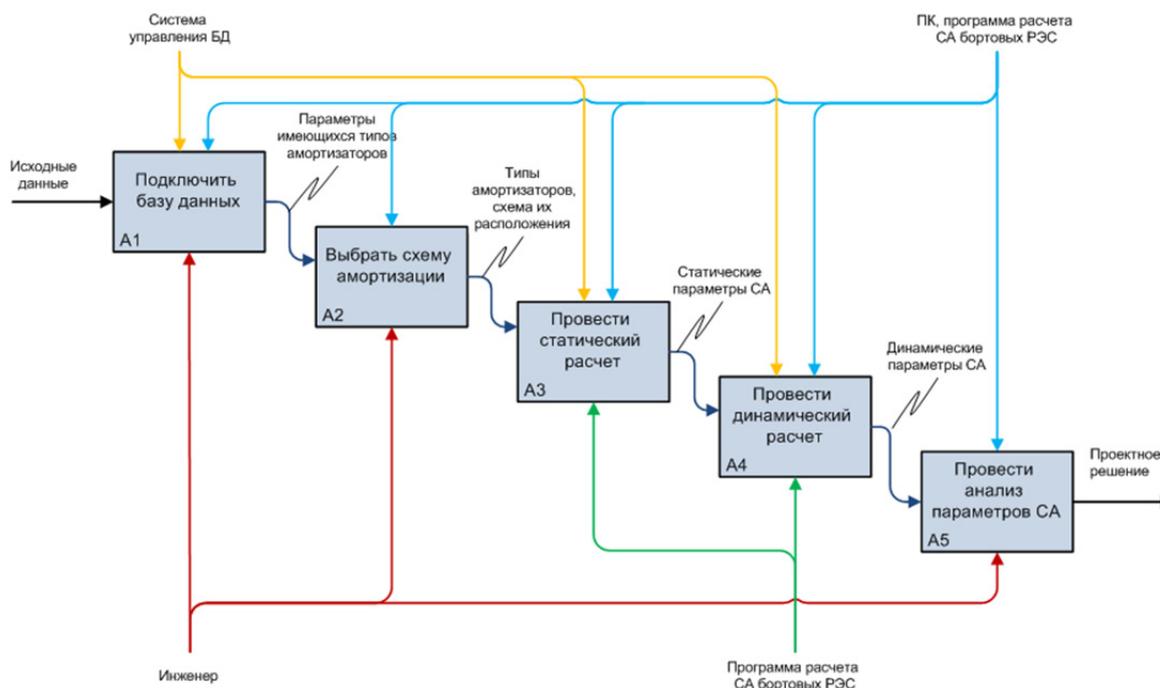


Рис. 3. Инженерная методика работы с программным обеспечением в виде диаграммы IDEF0 по ГОСТ Р 50.1.028-2001

На этапе подключения базы данных пользователю следует подключить ту базу данных, которая содержит информацию о параметрах амортизаторов, имеющихся в наличии на предприятии или предполагаемых к использованию и закупке. Входными данными процесса служат исходные данные для расчета, такие как масса амортизируемого блока, его габаритные размеры, места расположения амортизаторов и др. Выходными данными процесса являются параметры имеющихся в базе данных амортизаторов.

На этапе выбора схемы амортизации пользователю следует выбрать схему с одной плоскостью симметрии либо с двумя, в зависимости от конкретной ситуации. Входными данными процесса служат параметры выбранных амортизаторов. Параметры заносятся в систему автоматически из базы данных после того, как пользователь выберет конкретные типы амортизаторов. Выходными данными процесса являются данные, необходимые для дальнейшего проведения расчетов.

На этапе проведения статического расчета программа автоматически выполняет расчет таких параметров системы амортизации, как статический прогиб амортизаторов и толщину компенсирующей прокладки для компенсации их перекаса. Входными данными процесса служат схема амортизации и параметры выбранных амортизаторов. Выходными данными процесса являются статические параметры системы амортизации.

На этапе проведения динамического расчета программа автоматически выполняет расчет таких параметров системы амортизации, как моменты инерции и жесткости амортизаторов, коэффициенты динамичности и др. Входными данными процесса служат схема системы амортизации, параметры выбранных амортизаторов и данные, полученные при статическом расчете. Выходными данными процесса являются динамические параметры системы амортизации.

На этапе анализа полученных параметров системы амортизации делается вывод о том, подходит предлагаемая система амортизации или нет.

Таким образом, была разработана методика работы с программой расчета систем амортизации бортовых РЭС на основе методологии IDEF0, позволяющая проводить расчет статических и динамических параметров системы амортизации.

Численные эксперименты

В целях проверки работоспособности программы проведен расчет амортизации по исходным данным, приведенным в [3].

Исходные данные для проведения статического расчета схемы амортизации с одной плоскостью симметрии показаны на рис. 4,а. Следуя методике расчета, получим данные, представленные на рис. 4,б.

Исходные данные для проведения динамического расчета схемы амортизации с двумя плоскостями симметрии показаны на рис. 5,а. Следуя методике расчета, получим данные, представленные на рис. 5,б.

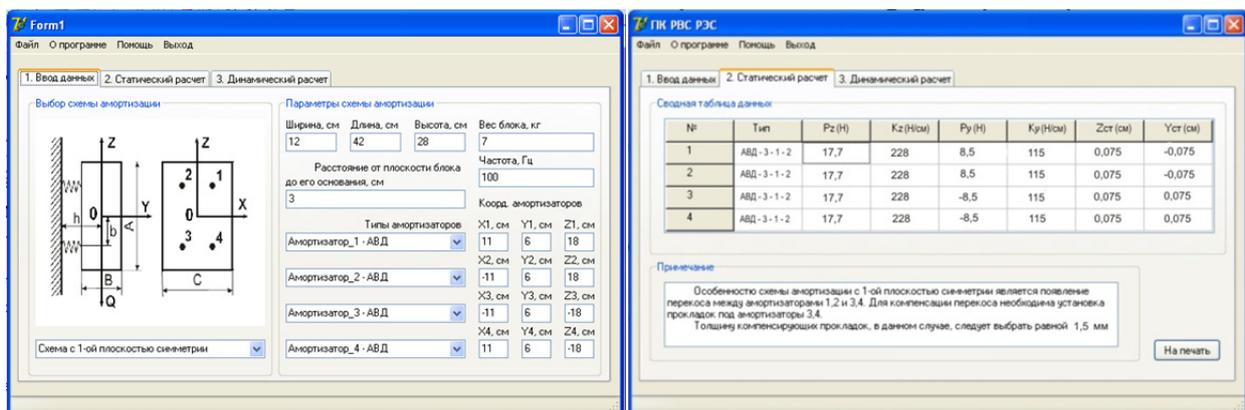
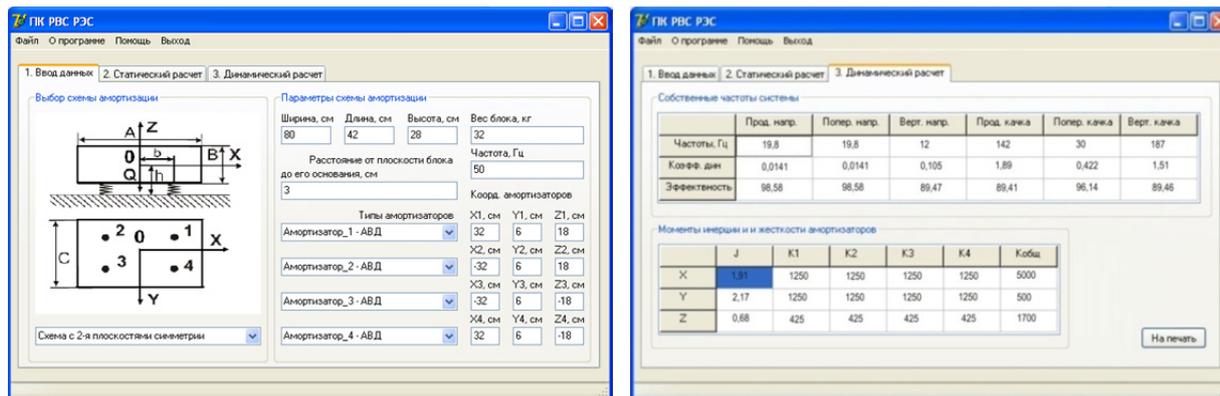


Рис. 4. Статический расчет схемы амортизации с одной плоскостью симметрии:
а – исходные данные; б – результаты расчета



а)

б)

Рис. 5. Динамический расчет схемы амортизации с двумя плоскостями симметрии:

а – исходные данные; б – результаты расчета

В результате расчетов программы получили данные, значения которых совпадают с уже рассчитанными. Исходя из этого следует вывод, что разработанная программа по расчету амортизации, подверженной вибрационным воздействиям, работает безошибочно. Также разработанное программное обеспечение прошло апробацию и нашло применение в различных сторонних проектах [6–8].

Выводы

Разработанное нами программное обеспечение гарантирует необходимую функциональность при проведении расчетов систем амортизации бортовых РЭС, позволяя инженеру проводить расчет наиболее распространенных схем амортизации; проводить не только статический, но и динамический расчет схем амортизации; подключать базу данных на существующие типы амортизаторов; дополнительно проводить расчет компенсирующих прокладок амортизаторов.

Наличие программного обеспечения с указанными функциональными возможностями позволит инженеру проводить все необходимые расчеты при проектировании систем амортизации бортовых РЭС.

Список литературы

1. Токарев, М. Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры : учеб. пособие для вузов / М. Ф. Токарев, Е. Н. Талицкий, В. А. Фролов ; под ред. В. А. Фролова. – М. : Радио и связь, 1984. – 232 с.
2. Ильинский, В. С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий / В. С. Ильинский. – М. : Радио и связь, 1982. – 295 с.
3. Дульнев, Г. Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах / Г. Н. Дульнев, Э. М. Семьяшкин. – Л. : Энергия, 1968. – 360 с.
4. Кафедра «Технология аэрокосмического приборостроения» Санкт-Петербургского государственного университета. – URL: http://guar.ru/guar/dep02/krat_main.shtml.
5. Таньков, Г. В. Исследование моделей стержневых конструкций радиоэлектронных средств / Г. В. Таньков, В. А. Трусов, А. В. Затылкин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2005. – С. 156–158.
6. Баннов, В. Я. Автоматизированный стенд исследования процедуры формирования тестового воздействия при проведении диагностики логических схем электронных устройств / В. Я. Баннов, Е. В. Сапрова, А. В. Затылкин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 32–34.
7. Лабораторный комплекс в архитектуре ИКОС как основа формирования умений / И. Д. Граб, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков, Н. В. Горячев, В. Б. Алмаметов, В. Я. Баннов, И. И. Кочегаров // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 1. – С. 213–215.
8. Лысенко, А. В. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Д. А. Рындин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 155–158.

УДК 378.147

Затылкин, А. В.

Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 33–40.

Затылкин Александр Валентинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 368-212
E-mail: al.zatylkin@yandex.ru.

Таньков Георгий Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 368-212
E-mail: olddalez@yandex.ru

Кочегаров Игорь Иванович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 368-212
E-mail: kipra@pnzgu.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос обеспечения виброзащиты статически неопределимых систем амортизации бортовых РЭС. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для проведения расчетов основных параметров систем виброзащиты. Предложена инженерная методика работы с программным обеспечением в виде диаграммы IDEF0. Проведены численные эксперименты, которые показали безошибочность работы разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: удары, вибрации, надежность, амортизатор, программа, алгоритм, инженерная методика.

Zatylkin Alexander Valentinovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Tankov Georgiy Vasilievich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kochegarov Igor' Ivanovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. This article considers the question of providing vibration protection statically indeterminate systems depreciation onboard RES. Developed algorithms and software for the calculation of the main parameters of vibration protection systems. An engineering procedure of work with the software in the form of a diagram IDEF0. Numerical experiments showed that the developed software works accurately.

Key words: shock, vibration, reliability, shock absorber, program, algorithm, engineering technique.

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭС И МЕТОДИКА, ЕГО РЕАЛИЗУЮЩАЯ

А. В. Лысенко

Введение

Практически все современные автоматизированные технические системы и объекты имеют электронные устройства, осуществляющие функции управления, регулирования, координации и связи. При этом круг задач, решаемых с помощью электронной аппаратуры, с каждым годом расширяется, а их сложность возрастает. Это привело к тому, что оснащенность электронной аппаратурой автомобилей, железнодорожных объектов, сельскохозяйственной, дорожной и строительной техники чрезвычайно возросла, и отказ в работе хотя бы одного из устройств может привести к отказу всего объекта [1]. Поэтому требования к надежности электронных и электронно-вычислительных средств постоянно растут. Надежность и стабильность работы электронных средств (ЭС) значительно ухудшаются при механических воздействиях – вибрациях, ударах, линейных перегрузках, акустических шумах (для наземной подвижной техники – вибрации и удары), источниками которых могут быть различные двигатели, в том числе и дорожная тряска, быстро вращающиеся разбалансированные массы, взрывы и многие другие [2].

Для обеспечения необходимой надежности и стабильности работы ЭС применяют различные средства защиты от вибраций и ударов: демпферы, пружины, прокладки, амортизаторы (пассивные, регулируемые, активные) и т.д., которые позволяют снижать воздействия вибрационных нагрузок на всем диапазоне частот, в том числе и на резонансных частотах [3, 4].

Активные амортизационные системы предназначены для снижения амплитуды вибраций не только на резонансных частотах, но и на всем требуемом диапазоне частот за счет реализации метода изменения жесткости регулируемых подвесов систем амортизации [5]. Но это влечет за собой усложнение систем виброзащиты за счет введения дополнительных средств измерения вибраций, а также увеличение их стоимости, поэтому применение таких средств защиты обосновано только в исключительных случаях ответственной ЭС. К тому же во многих случаях вибрационная защита достаточна лишь на резонансных частотах, так как остальной диапазон на ЭС влияет не сильно [6].

Таким образом, необходимо применить иной метод компенсации вибрационных воздействий на резонансных частотах. В качестве такого метода был выбран метод фазового рассогласования электрических величин, применяемый, например, при проектировании ЭС в фазовых дискриминаторах, моноимпульсных измерителях угловых координат и т.д., и позволяющий устранить влияние флуктуаций амплитуды сигнала при сложении фаз сигналов [7].

Выявлено, что метод фазового рассогласования можно применять не только для управления электрическими величинами, но и механическими [8]. Применение метода фазового рассогласования механических величин позволяет обеспечить виброзащиту только на резонансных частотах, что позволяет уменьшить как массогабаритные показатели системы активной виброзащиты, так и существенно снизить сложность, стоимость и энергопотребление самой системы амортизации при незначительной степени снижения уровня вибронгрузки.

Таким образом, необходимо разработать новый способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС на резонансных частотах, позволяющий применить метод фазового рассогласования.

Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС

Разработан способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях РЭУ на резонансных частотах, отличающийся от известных введением фазового рассогласования внешнего вибрационного воздействия в точки крепления объекта виброзащиты, позволяющий

существенно снизить вибрационные нагрузки на конструкцию РЭУ. Способ представлен в виде схемы IDEF0 на рис. 1.

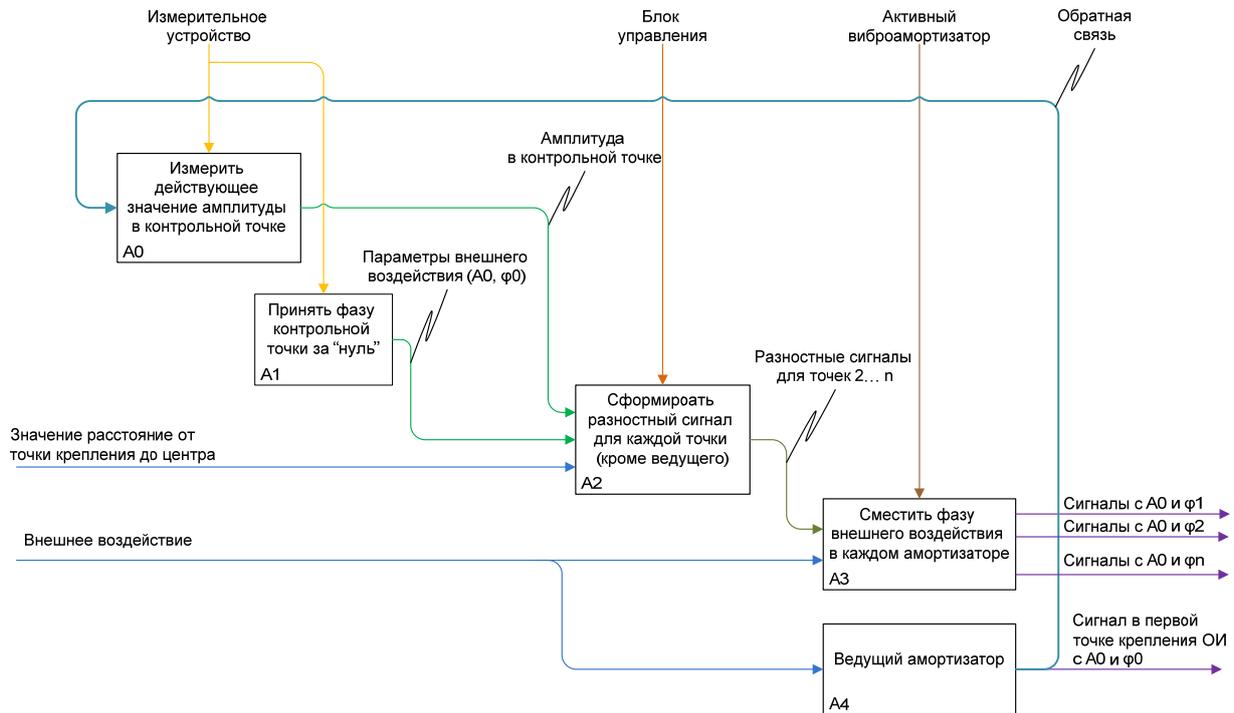


Рис. 1. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС

Сущность представленного способа заключается в следующем.

Внешнее вибрационное воздействие (гармонической формы) поступает на все амортизаторы. Амплитудно-частотные характеристики внешнего вибрационного воздействия регистрируются с помощью датчика активного виброамортизатора (ведущего амортизатора) (A4). После этого выделяется действующее значение амплитуды (блок A0), при этом фаза гармонического сигнала принимается за «нуль» (блок A1). Параметры внешнего воздействия (амплитуда, фаза и частота) поступают в блок управления (БУ). Для дальнейшей работы сигнал усиливается и преобразовывается из аналогового в цифровой с помощью АЦП. Цифровой сигнал поступает на микроконтроллер (ATmega 128), который позволяет измерить полученные параметры и с помощью синтезатора разности сигналов распределить их по требуемому числу каналов (блок A2). При этом количество каналов (n) зависит от количества амортизаторов, подключенных к блоку управления за вычетом одного ($n-1$).

В каждом ведомом канале генерируется смещение по фазе на угол ($360^\circ/n$) по сравнению с каждым соседним каналом (блок A3). Таким образом, на выходе микроконтроллера получаем несколько разностных сигналов, смещенных по фазе, но с одинаковой амплитудой. В блоке управления предусмотрены преобразователи, способные преобразовывать цифровые сигналы в аналоговые (ЦАП). Аналоговые сигналы поступают на амортизаторы, при суммировании с действующей на них вибрацией выдают результирующие сигналы, которые вместе с неизменным сигналом ведущего амортизатора выводятся на объект виброзащиты.

Отличительной особенностью предлагаемого способа является обратная связь, позволяющая формировать требуемый фазовый сдвиг с учетом изменения частоты внешнего воздействия, и выделяемая по одному из каналов (ведущему каналу).

Методика формирования фазового рассогласования внешнего вибрационного воздействия в активных системах амортизации ЭС

На основе предложенного способа разработана методика формирования фазового рассогласования внешнего вибрационного воздействия в активных системах амортизации ЭС для решения практической задачи виброзащиты ЭС на четырех амортизаторах.

Методика состоит из шести этапов:

1) в блоке управления задать расстояние от точки крепления до центра (измеряется физически);

2) снять действующее значение амплитуды внешнего вибрационного воздействия в первой (базовой) точке крепления объекта виброзащиты ($A_0 = A_{изм}$);

3) измерить и принять значение фазы внешнего вибрационного воздействия в первой (базовой) точке крепления объекта виброзащиты за «нуль» ($\varphi_1 = 0^\circ$);

4) сместить фазу внешнего вибрационного воздействия в каждом канале на 90° (сформировать управляющие сигналы $A_{уС2}$, $A_{уС3}$ и $A_{уС4}$, где $A_{уС2}(t) = \frac{A_0}{l} \cdot w \cdot \sin\left[\left[(\omega \cdot t) - k \cdot l\right] + \pi / 2\right]$,

$A_{уС3}(t) = \frac{A_0}{l} \cdot w \cdot \sin\left[\left[(\omega \cdot t) - k \cdot l\right] + \pi\right]$, $A_{уС4}(t) = \frac{A_0}{l} \cdot w \cdot \sin\left[\left[(\omega \cdot t) - k \cdot l\right] + \frac{3\pi}{2}\right]$);

5) усилить полученные сигналы на каждом канале до уровня $A_{уС2} = A_{уС3} = A_{уС4} = A_0$ и ввести их в соответствующие амортизаторы;

6) перейти к выполнению пункта 3 настоящей методики.

Выполнение методики подразумевается в бесконечном цикле, выходом из которого является физическое отключение питания. Данная методика отличается от общепринятой смещением фазы внешнего вибрационного воздействия каждого канала, что позволяет снизить вибрационные нагрузки на конструкцию ЭС в несколько раз.

Вывод

Разработанный способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС на резонансных частотах позволяет существенно снизить вибрационные нагрузки на конструкцию ЭС. На основе способа предложена методика формирования фазового рассогласования внешнего вибрационного воздействия в активных системах амортизации ЭС, отличающаяся от известных формированием трех разностных сигналов, выделяемых из одного ведущего канала, что позволяет снизить вибрационные нагрузки на конструкцию ЭС за счет снижения амплитуды резонанса.

Список литературы

1. Талицкий, Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы: учеб. пособие / Е.Н. Талицкий. – Владимир : Владим. гос. ун-т., 2001. – 256 с.
2. Токарев, М. Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры : учеб. пособие для вузов / М. Ф. Токарев, Е. Н. Талицкий, В. А. Фролов ; под ред. В. А. Фролова. – М. : Радио и связь, 1984. – 224 с.
3. Лысенко, А. В. Анализ современных систем управления проектами / А. В. Лысенко // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 371–372.
4. Лысенко, А. В. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Д. А. Рындин // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 155–158.
5. Лысенко, А. В. Методика исследования радиоэлектронных средств опытно-теоретическим методом на ранних этапах проектирования / А. В. Лысенко, А. В. Затылкин, Д. А. Голушко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). – 2012. – № 7 (38). – С. 91–96.
6. Затылкин, А. В. Исследование моделей радиотехнических устройств на ранних стадиях проектирования / А. В. Затылкин // Современные информационные технологии – 2011 : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – Вып. 11. – С. 113–118.
7. Юрков, Н. К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 1. – С. 104–106.
8. Лысенко, А. В. Особенности разработки типологии устройств амортизации радиоэлектронных средств на основе фасетной структуры / А. В. Лысенко // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2. – С. 151–155.

УДК 621.316.969

Лысенко, А. В.

Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС и методика его реализующая / А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 41–44.

Лысенко Алексей Владимирович

аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-82-12
E-mail: lysenko7891@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос необходимости применения активных систем амортизации для снижения вибрационных нагрузок. Дана оценка существующему методу снижения амплитуды вибраций. Предложен способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях электронных средств в виде диаграммы IDEF0. Разработана методика автоматического управления системой активной виброзащиты электронных средств, основанная на предложенном способе.

Ключевые слова: вибрация, амплитуда, надежность, амортизатор, несущая конструкция, активная виброзащита.

Lysenko Aleksey Vladimirovich

postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. In the article the question of the need for active damping system to reduce vibration loads. The estimation of an existing method to reduce the amplitude of the vibrations. We propose a method for reducing the amount of vibration loads in load-bearing structures of electronic means in the form of diagrams IDEF0. A method of automatic control system, active vibration electronic means, based on the proposed method.

Key words: vibration, amplitude, reliability, shock absorber, the supporting structure, the active vibration protection.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО МЕТОДА

С. С. Семенов

Актуальность проблемы оценки технического уровня сложных систем на базе знаний экспертов

На стадии тематического планирования, выдачи технического задания и на этапах начального проектирования сложной технической системы (СТС) возникает задача оценки качества и технического уровня систем, которая не может быть решена формализованными методами в рамках математического моделирования из-за отсутствия необходимых данных по составу, структуре, параметрам и характеристикам создаваемой СТС. В условиях неполноты информации возникает необходимость использования методов экспертных оценок, т.е. методов, основанных на использовании накопленного опыта и знаний, интуиции специалистов в исследуемой области, в том числе данных о аналогах и др.

Экспертная оценка – совокупность научно обоснованных методов, которые позволяют по заданным исходным данным формировать общую совокупность возможных вариантов технических решений, производить их сравнительный анализ, отбор, включая выделение оптимального по выбранным критериям варианта.

Проведенный анализ показывает, что метод экспертных оценок широко используется специалистами в области военных технологий и в различных отраслях народного хозяйства при создании СТС, разработке новых проектов и технологий. Отметим, что как при использовании метода математического моделирования, так и при экспертном методе, формальную модель или описание объекта формирует исследователь, который опирается на системный подход со своими, присущими каждому специалисту, предпочтениями. При этом современные математические методы достигли такого совершенства, что их применение при обработке мнений экспертов в значительной мере способствует снижению субъективизма, присутствующего в методе экспертных оценок.

Как показывает практика применения метода экспертных оценок при определении технических условий (ТУ) СТС, особенно важными этапами являются формирование структуры и состава оценочных показателей, а также выбор критерия оценки ТУ различных типов СТС.

Выбор целей, показателей и критериев эффективности часто является центральной проблемой анализа и синтеза любых систем. При этом первоначально необходимо выбрать показатели и критерии эффективности СТС [1].

Успех применения метода экспертных оценок зависит не только от мнения экспертов, но также от того, насколько четко сформулирована задача исследований и правильно поставлены вопросы экспертам. Выполнить данное требование можно только на основе глубокого знания предмета исследования и системного подхода.

Основы системного подхода при оценке технического уровня сложных систем

Системный подход представляет собой совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными взаимосвязями, взаимовлиянием элементов на систему и на окружающую среду, а также влиянием самой системы на ее структурные элементы. Системный подход при исследовании любого сложного объекта, явления или процесса базируется на их целостном видении. Главной особенностью системного подхода является наличие доминирующей роли целого над частным, сложного над простым. Поэтому в отличие от традиционного подхода, когда мысль движется от простого к сложному, от части к целому, от элемента к системе, в системном подходе, наоборот, мысль движется от целого к составным частям, от системы к элементам, от сложного к простому [2–6].

Системный подход делает акцент на анализе целостных, интегративных свойств объекта, выявлении его структуры и функций.

В работе [7] системный анализ представлен четырьмя этапами:

1 этап – постановка задачи, определение объекта, цель исследования, критериев для изучения и управления объектом;

2 этап – анализ объектов и процессов, имеющих отношение к поставленной цели. При этом различают замкнутые и открытые системы. При исследовании замкнутых систем влияние внешней среды не учитывается. Выделяются отдельные части системы, устанавливается взаимодействие между ними;

3 этап – составление математической модели исследуемой системы. В зависимости от особенностей процессов используют тот или иной математический аппарат для анализа системы в целом. В результате формируются законченные математические модели системы;

4 этап – анализ полученной математической модели. Формирование выводов.

Часто используется также понятие «системные исследования», которое достаточно глубоко проработано в [8], посвященной принципам системных исследований сложных организационных и СТС. В приведенной работе системные исследования определяются как совокупность современных научных концепций, проблем и научно-технических работ, в которых исследуемые и проектируемые сложные организационные и технические комплексы рассматриваются как системы.

Системный подход ориентирует на раскрытие целостности сложных объектов, на выявление многообразных типов внешних и внутренних связей, зависимостей и взаимодействий этого объекта, сведение их в единую системную картину и комплексное отнесение системных моделей объекта системных исследований.

Обобщая и систематизируя современные и перспективные методологии и методики системного подхода к исследованию и проектированию разнообразных сложных систем, базовый состав и содержание системных исследований может быть представлен в следующем виде:

- 1) целевой и организационный анализ;
- 2) функциональный анализ;
- 3) структурный анализ;
- 4) функционально-структурный (совместный) анализ;
- 5) исторический (эволюционный) анализ развития системы;
- 6) системный (функциональный и структурный) синтез системы;
- 7) оценочный (критериальный) анализ.

Указанные семь видов системных исследований целесообразно выполнять в полном составе и в приведенной последовательности при анализе и проектировании принципиально новых систем. При совершенствовании (модернизации) существующих систем можно применять только отдельные типы системных исследований в определенном составе, содержании и взаимодействии.

Системные исследования необходимо сочетать с такими специальными видами анализа, как информационный анализ, параметрический анализ, различные виды моделирования, макетирования, специальные расчеты, прогнозного вида экспертизы и испытания и т.п.

Следует отметить, что практически все существующие СТС испытывают противодействие. Различают естественное и искусственное противодействие [9]. Согласно работе [10], противодействие СТС, функционирующей в условиях конфликтной ситуации, направлено на уменьшение ее эффективности различными способами.

Противодействие – это конкретная реакция на функционирование определенной СТС. Характер реакции определяется как состоянием противодействия, так и характером СТС. В общем случае следует считать, что каждому действию СТС (функционирование каждого элемента или агрегата) соответствует целенаправленное противодействие. В этой связи введем понятие «канал противодействия», т.е. действие, направленное на затруднение или прекращение функционирования конкретного СТС на одном из этапов операции.

Оценочный анализ предусматривает оценку эффективности (качества) функционирования системы и ее компонентов, а также оценку научно-технического и технико-экономического уровня СТС. Оценочный анализ включает:

- 1) обоснованный выбор и применение различных критериев оценки эффективности и качества функционирования системы и ее компонентов;
- 2) назначение и определение качественных и количественных показателей критериев оценки (параметров, характеристик) системы;

3) выбор и применение различных методов и методик определения (расчета и экспериментального определения) показателей используемых характеристик эффективности системы и ее компонентов;

4) выбор, принятие и реализация финансово-экономических, управленческих, ресурсных и других решений по созданию, развитию и функционированию системы.

Оценочный анализ может также включать результаты применения экспертных методов оценки СТС.

Результаты оценочного анализа рекомендуется представлять в виде согласованных между собой таблиц и схем результатов составных частей оценочного анализа по выбору обоснованной совокупности оценочных критериев и определению их качественных и количественных показателей.

Среди основных видов обеспечения системных исследований и научно-технического творчества имеется экспертное обеспечение, под которым понимается сбор и систематизация правовых, руководящих, нормативных и методических документов (законодательных актов, положений, руководства, методических рекомендаций, инструкций), а также формирование квалификационной подготовленной группы различных специалистов (ученых и исследователей, экспериментаторов и испытателей, инженеров и техников) для проведения различных видов экспертизы (правовой, нормативной, оперативно-тактической, научно-технической, психолого-педагогической, экономической, финансовой и др.).

Базовые признаки понятия «система»

Изучаемые, создаваемые и проектируемые в настоящее время системы характеризуются исключительной сложностью. Сложность системы определяется большим числом элементов и выполняемых ими операций, высокой степенью связности элементов, сложностью алгоритмов выбора тех или иных управляющих воздействий и большими объемами перерабатываемой при этом информации. К сожалению, пока не существует формального и строгого определения понятия сложной или большой системы. Одной из основных характерных черт этих систем считается иерархичность и сложные структурные взаимоотношения между элементами системы.

Основной общий признак, который присутствует практически во всех определениях и теоретических моделях понятия, – «система», т.е. наличие структуры. Вторым общим признаком, отличающим системы, – это целостность совокупности элементов системы. В настоящее время, как было сказано выше, отсутствует общепринятое и достаточно корректное определение системы – имеются лишь различные ее толкования. Анализ различных определений и толкований показывает, что существуют, по крайней мере, четыре основных признака, которыми должен обладать объект, явление или их отдельные грани (срезы), чтобы их можно было считать системой [4, 6].

Первая пара признаков – это признаки целостности и членимости объекта. С одной стороны, система – это целостное образование, совокупность элементов, а с другой стороны, в системе четко можно выделить ее элементы (целостные объекты).

Второй признак – это наличие более или менее устойчивых связей (отношений) между элементами системы, при этом с системных позиций определяющими являются не любые связи, а только лишь существенные связи (отношения), которые определяют интегративные свойства системы.

Третий признак – это наличие интегративных свойств (качеств), присущих системе в целом, но не присущих ее элементам в отдельности.

Четвертый признак – это организация (организованность) развивающихся систем. Этот признак характеризует наличие в системе определенной организации, что проявляется в снижении степени неопределенности системы. Организация проявляется в структурных особенностях системы, сложности, способности сохранения системы и ее развития.

Выше уже отмечалось, что интегративное, или системное, качество – одно из ключевых понятий теории систем. Оно существенно для данной совокупности элементов, отличает данную совокупность от всех остальных и имеет свое название. Другими словами, систему образует совокупность элементов только тогда, когда отношения между ними порождают интегративные качества и связанные с ними свойства целостности. Интегративным качеством искусственных систем, создаваемых людьми для определенных целей, является его основное назначение.

Способы выделения систем

Первый, наиболее распространенный способ – когда сложный объект, явление или процесс расчленяется на множество составных элементов и между ними выявляются системообразующие межэлементные связи и отношения, придающие этому множеству целостность.

Другой способ – это представление не всего исследуемого объекта, явления или процесса как системы, а только лишь его отдельных сторон и аспектов, которые считаются существенными для исследуемой проблемы.

Часто под системой упрощенно понимают множество взаимосвязанных элементов (или подсистем), отношения которых между собой порождают системное качество интегративности и которые в совокупности обладают свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов (или подсистем). Фактически такое понимание отождествляет понятие системы с понятием ее структуры. Подсистемы, в свою очередь, являются системами для своих подсистем. Каждая система входит в некоторую надсистему. На рис. 1 схематично представлена иерархическая трехуровневая система, в которой системы A_1, A_2, A_3 входят в надсистему (гиперсистему) D , а система A_1 со своей стороны состоит из подсистем B_1, B_2, B_3 [6].

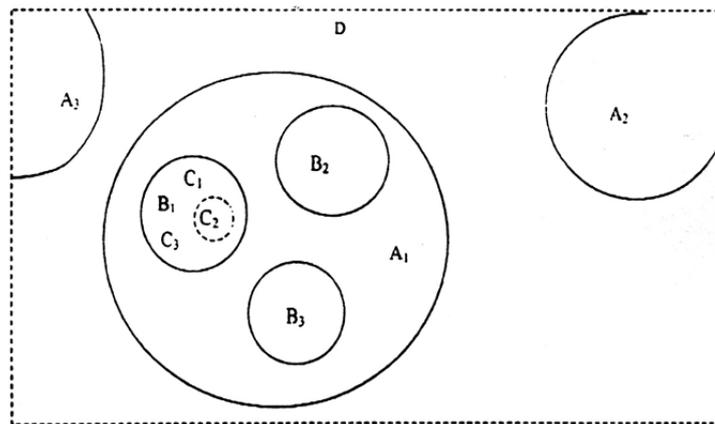


Рис. 1. Схематическое представление 4-уровневой иерархии систем, когда система A_i , входящая в надсистему D , со своей стороны состоит из подсистем B_1, B_2, B_3 , а $B_1 - C_1, C_2, C_3$

Если нас заинтересуют структурные и другие характеристики одной из подсистем, например, подсистемы B_1 , то в этом случае уже B_1 станет для нас исследуемой системой, A_1 – ее надсистемой (гиперсистемой), а C_1, C_2, C_3 – подсистемами. Таким образом, системы, их подсистемы и надсистемы могут образовывать иерархию.

Часто элементарной системой или подсистемой (структурным элементом системы) называют систему (элемент системы), которая хорошо научно изучена и исследована. Для уточнения и структурирования представления о сложном объекте, в котором предварительно выделены элементы, подсистемы, системы и надсистемы, при решении задач обычно требуется дальнейшая формализация (структуризация), позволяющая применить те или иные научные знания.

Системные исследования объекта, как правило, сводятся к структурным и функциональным исследованиям. При структурном исследовании предметом исследований, как правило, являются состав, конфигурация, топология и т.п.; при функциональном исследовании – динамические характеристики, устойчивость, живучесть, эффективность, т.е. все то, что при неизменной структуре системы зависит от свойств ее элементов и их отношений.

Понятие структуры системы

Существуют несколько определений: структура есть форма представления некоторого объекта в виде составных частей или структура – это множество всех возможных отношений между подсистемами и элементами внутри системы, или структура – это совокупность элементов и связей между ними, которые определяются исходя из распределения функции и цели, поставленных перед системой, или структура – это то, что остается неизменным в системе при изменении ее состояния, при реализации различных форм поведения, при совершении системой операции и т.п. [4]. В совокупности эти определения отражают главное, что присутствует в любой структуре: элементный состав, наличие связей, неизменность (инвариантность) во времени. В простейшем случае под структурой будем понимать множество элементов системы, между которыми имеются связи (взаимоотношения).

В сложных системах связь между системами строится по принципу иерархии, предусматривающей подчиненность системы надсистеме и подсистемы системе. Цель каждого элемента нижнего уровня – подчинение цели более высокого уровня. Только тогда вся сложная иерархическая система может функционировать как единое целое. Подсистема, в первую очередь, является системой для своих подсистем, и поэтому и подсистемы образуют иерархию. При этом структурным элементом или структурной подсистемой считается та наименьшая часть системы, которая еще подчиняется системообразующим закономерностям. На рис. 2 представлена многоуровневая СТС, в роли которой выступает комплекс беспилотных летательных аппаратов [11]. Для полной характеристики системы необходимо также указать среду (атмосфера, географическое положение, объекты поражения, средства противодействия и пр.) и другое в зависимости от целей исследования.

Методы системного анализа и их классификация

На рис. 3 приведена схема классификации методов анализа сложных систем, которые представлены двумя – неформальными с привлечением знаний и опыта специалистов и формальными методами, связанными с описанием проблемы на основе математических методов [12].

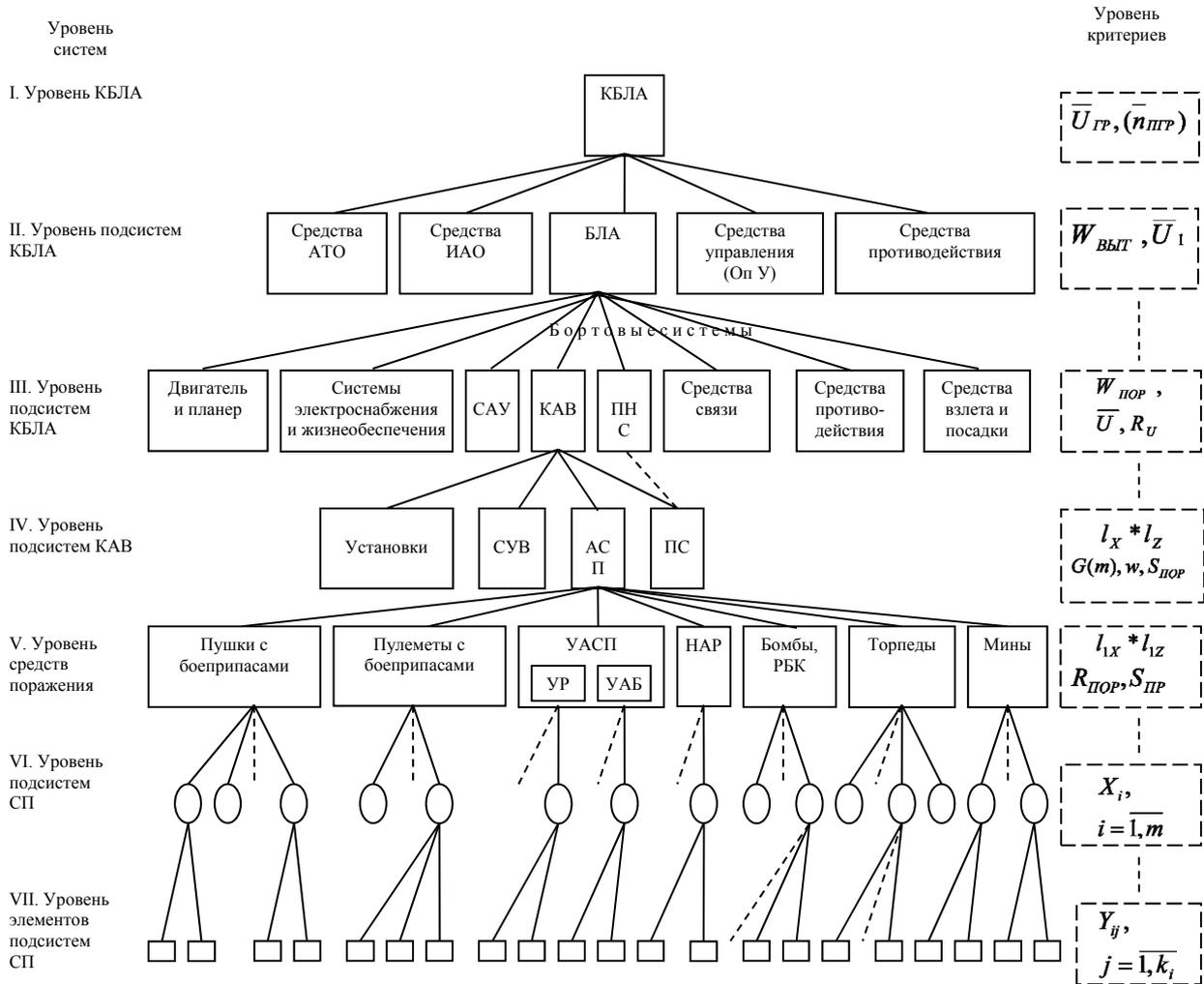


Рис. 2. Структурная схема КБЛА для решения информационных и боевых задач: АТО – аэродромное техническое обслуживание; ИАО – инженерно-авиационное обеспечение; БЛА – беспилотный летательный аппарат; САУ – система автоматического управления; КАВ – комплекс авиационного вооружения; ПНС – прицельно-навигационная система; РБК – разовая бомбовая кассета; СП – средства поражения; СУВ – система управления вооружением; АСП – авиационные средства поражения; ПС – прицельная система; УАСП – управляемые авиационные средства поражения; УР – управляемые ракеты; УАБ – управляемые авиационные бомбы; НАР – неуправляемые авиационные ракеты

Обозначения: $\bar{U}_{ГР}, (\bar{n}_{ПГР})$ – максимальный средний ущерб КБЛА при заданных собственных потерях; $W_{ВЫГ}, \bar{U}_1$ – вероятность выполнения БЛА боевой задачи и средний ущерб, наносимый одним БЛА с учетом всех факторов боевого полета; $\frac{W_{ПОР}}{\bar{U}, R_U}$ – вероятность выполнения БЛА боевой задачи, средний ущерб, нанесенный групповой или площадной цели, вероятность нанесения цели ущерба; $l_X * l_Z$ – размер зоны поражения; $G(m), w, S_{ПОР}$ – условный закон поражения, среднее необходимое число попаданий для СП ударного действия, площадь поражения; $G(m), w, S_{ПОР}$ – условный закон поражения, среднее необходимое число попаданий для СП; $l_{1X} * l_{1Z}$ – площадь поражения; $R_{ПОР}, S_{ПР}$ – радиус поражающего действия, приведенная площадь поражения; $X_i, \frac{Y_{ij}}{j=1, k_i}$ – значения векторных величин, характеризующих технические подсистемы СП; значения векторных величин, характеризующих технические элементы подсистем СП.

Постановка любой задачи предназначена для перевода ее словесного (вербального) описания в формальное. Для рекомендации решения данного класса задач по формализованному методу должна быть разработана модель, адекватность которой подтверждается фундаментальным законом (основа модели) или экспериментом (рис. 3).

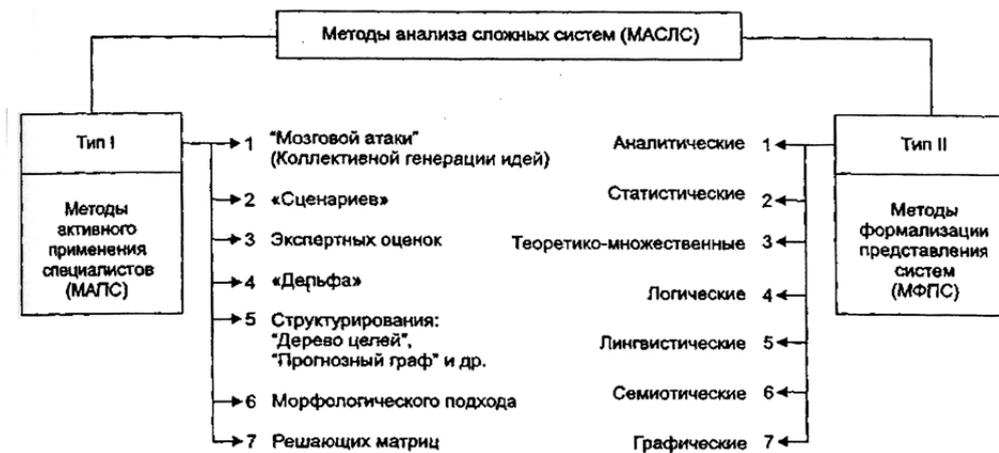


Рис. 3. Схема классификации методов анализа сложных систем

Для решения слабоструктурированных задач и для задач с большой неопределенностью используются неформальные методы, классификация которых представлена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация неформальных методов анализа сложных систем

Название класса методов	Семантика методов	Примечания
1	2	3
1. Мозговая атака или коллективная генерация идей (КГИ). Различают (по правилам): – прямую мозговую атаку; – метод обмена мнениями; – методы комиссий, судов	На сессиях КГИ надо соблюдать определенные правила: – обеспечивать максимальную свободу мышления и высказывания новых идей всем участникам; – приветствовать любые идеи, пусть вначале они сомнительны или абсурдны; давать оценку идеям, обсуждать их только после окончания <i>i</i> высказываний; – не допускать критики; – не объявлять любую идею ложной; – не прекращать высказывание ни одной идеи;	К сессиям КГИ относятся: – различные совещания; – заседания ученых и научных советов; – специально создаваемые временные комиссии. При этом: – трудно обеспечить жесткое выполнение правил, т.е. создать атмосферу мозговой атаки на советах и т.п., так как мешает влияние должностной структуры организации;

Продолжение табл. 1

1	2	3
	<p>– высказывать как можно больше идей (нетривиальных);</p> <p>– стараться создать как бы цепные реакции идей</p>	<p>– мозговую атаку часто проводят в форме деловой игры</p>
<p>2. Метод сценариев (СЦН). Предлагаются методики:</p> <ul style="list-style-type: none"> – подготовки СЦН на ЭВМ; – целевого управления подготовкой сценариев 	<p>Сценарием называется подготовка и согласование представлений о проблеме или об объекте анализа, изложенная в письменной форме. Основная особенность сценариев – в них даются не только содержательные рассуждения, не упускающие детали, но и результаты количественного технико-экономического или статистического анализа с предварительными выводами</p>	<p>На практике с помощью СЦН разрабатывались прогнозы в отраслях промышленности.</p> <p>При этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> – группы экспертов, разрабатывающих СЦН, пользуются правом получения справок от предприятий и организаций; – специалисты по анализу систем должны всесторонне помогать (по системе) ведущим специалистам разных областей знаний
<p>3. Экспертные оценки (ЭКОЦ). Выбор форм и способов экспертных вопросов, подходов к обработке результатов и т.д. зависит от конкретной задачи и условий проведения экспертиз</p>	<p>Обоснование объективности ЭКОЦ: неизвестная характеристика исследуемого – случайная величина, отражение закона распределения которой – индивидуальная оценка специалиста-эксперта о достоверности и значимости того или иного события. При этом считается, что истинное значение исследуемой характеристики находится внутри диапазона оценок, получаемых от группы экспертов, а обобщенное коллективное мнение является достоверным</p>	<p>ЭКОЦ – некоторая общественная точка зрения, зависящая от уровня ИТ-знаний общества о предмете исследования. Экспертный опрос – не одноразовая процедура, а способ получения информации о сложной проблеме с большой неопределенностью должен стать «механизмом» в сложной системе. Существуют исследования по представлению экспертной оценки как степени подтверждения гипотезы или как вероятности достижения цели</p>
<p>4. Метод Дельфи Дел, или Дельфийского оракула</p>	<p>Вначале Дел-процедуры применялись как итеративные для проведения мозговой атаки, а затем стали средством повышения объективности экспертных опросов с применением количественных оценок при результативности дерева целей и разработке сценариев. Средство повышения объективности. Дел-использование обратной связи: ознакомление экспертов с результатами предыдущего тура опроса и зависимость от них оценки значимости мнений экспертов</p>	<p>В последние годы Дел-процедуры обычно сопутствуют другим методам анализа систем (морфологическому, сетевому и др.). Перспективна идея развития экспертных оценок путем сочетания целенаправленного многоступенчатого опроса с развитием проблемы во времени (реализуемо при алгоритмизации процедуры и на ЭВМ). Повышается результативность опросов и активность экспертов в сочетании метода Дельфи с элементами деловой игры</p>
<p>5. Дерево целей (ДРЦ)</p>	<p>Метод предназначен для получения полной и относительно устойчивой структуры целей, т.е. структуры с небольшими изменениями за какой-то период времени при неизбежных изменениях в любой развивающейся системе. При создании вариантов структуры надо учитывать закономерности целеобразования и использовать принципы и методики формирования иерархических структур целей и функций (имеют важное значение для моделирования предпринимательских организаций и экономических объектов)</p>	<p>Термин дерево целей применяется для иерархических структур с отношениями строго древовидного порядка. Применяя ДРЦ для принятия решений, часто вводят термин «дерево решений», а при выявлении и уточнении функций управления – «дерево целей и функций». При структурировании тематики НИИ организаций применяется термин «дерево проблемы»; при прогнозировании – «дерево направлений развития» или «прогнозный граф»</p>

Окончание табл. 1

1	2	3
6. Морфологические методы (МФМ) были разработаны в систематизированном виде швейцарским астрономом Ф. Цвикки	Основная идея морфологического подхода – систематически находить максимальное количество решений поставленной проблемы или реализации системы комбинированием основных структурных элементов системы или их признаков. Система или проблема могут расчленяться на части различными способами и рассматриваться в разных аспектах	Кроме общих положений, Ф. Цвикки предложил ряд морфологических методов: – метод систематического покрытия поля (МСПП); – метод отрицания и конструирования (МОК); – метод морфологического ящика (ММЯ); – метода экстремальных ситуаций (МЭС); – метод сопоставления совершенного с дефектным (МССД); – метод обобщения (МОБ). Наиболее применимы три первых метода
7. Метод решающих матриц (РЕМ). Предложен Г. С. Поспеловым для повышения достоверности экспертных оценок разделением проблемы (с большой неопределенностью) на проблемы и пошаговым получением оценок	Назначение РЕМ – облегчить задачу получения от экспертов объективных и достоверных оценок влияния фундаментальных НИР на проектирование сложной системы (комплекса). Для этого вначале эксперты должны ответить, какие направления исследований могут быть полезны для создания системы и определить относительные веса направлений, затем составить план ОКР для получения результатов по названным направлениям и оценить их вклад, далее – определить программу и относительные веса прикладных НИР и, наконец, оценить влияние фундаментальных НИР на прикладные	РЕМ реализует одну из основных идей анализа систем: большая неопределенность в начале решения проблемы как бы разделяется на более мелкие, лучше поддающиеся исследованию и оценке. В результате применения РЕМ оценка относительной важности сложной альтернативы сводится к последовательности оценок более частных альтернатив, которые эксперт способен выполнить. Используется, например, при создании сложных производственных комплексов, АСУ и других сложных объектов: надо определить влияние на проектируемый объект фундаментальных НИР, чтобы запланировать прикладные НИР, их функционирование и ресурсы

Представленные методы характеризуют разные аспекты выявления и обобщения мнений экспертов (от лат. *expertus* – опытный), поэтому иногда эти методы называются опытными. Класс методов, которые основаны на непосредственном опросе экспертов, называется методом экспертных оценок (оценки в (баллах и рангах), поэтому их объединяют названием качественные.

Выводы

1. Оценка ТУ является важным процессом, как на начальных этапах создания СТС, так и на всех стадиях жизненного цикла.

2. На основе проведенных теоретических и аналитических исследований в работе показана необходимость знаний системного подхода и системного анализа и их основные положения при оценке ТУ СТС с участием экспертов, представлены базовые понятия о «системе», способы выделения и структура систем, характер развития и жизненный цикл современных СТС.

3. Представленные в данной статье ключевые положения системного подхода при анализе СТС, а также методы системного анализа крайне важны для формирования оценки ТУ СТС, в том числе с использованием знаний экспертов.

Список литературы

1. Лебедев, А. А. Введение в анализ и синтез систем : учеб. пособие. – М. : Изд-во МАИ, 2001. – 352 с.
2. Акофф, Р. О целеустремленных системах : пер. с англ. / Р. Акофф, Ф. Эмери. – М. : Сов. радио, 1974. – С. 27.

3. Спиркин, А. Г. Основы философии / А. Г. Спиркин. – М. : Политиздат, 1988. – С. 179.
4. Цвиркун, А. Д. Структура сложных систем / А. Д. Цвиркун. – М. : Советское радио, 1975. – 200 с.
5. Саркисян, С. А. Большие технические системы (анализ и прогноз развития) / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев. – М. : Наука, 1977. – 360 с.
6. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
7. Круглов, В. И. Методология научных исследований в авиа- и ракетостроении / В. И. Круглов, В. И. Ершов, А. С. Чумадин, В. В. Курицына. – М. : Логос, 2011. – 432 с.
8. Аверкин, А. Е. Общесистемные принципы системных исследований сложных организационных и технических комплексов / А. Е. Аверкин, В. В. Маклаков, А. В. Полтавский // Управление и самоуправление в сложных системах : материалы Междунар. семинара (симпозиума) (21–23 ноября 2005 г.). – М. : Комиссия РФ по делам ЮНЕСКО. ИПУ РАН, 2007. – С. 26–41.
9. Абраменко, Г. В. Виды внешнего воздействия (противодействие) на функционирование объектов и сложных технических систем / Г. В. Абраменко, Д. В. Васильков, В. А. Гуськов // Боеприпасы. – 2011. – № 3. – С. 72–79.
10. Ильичев, А. В. Эффективность проектируемых элементов сложных технических систем / А. В. Ильичев, В. Д. Волков, В. А. Грушанский. – М. : Высш. шк., 1982. – 254 с.
11. К вопросу об автоматизации проектирования авиационных средств поражения / В. Б. Монсик, В. М. Фаткин, А. В. Балдов, В. П. Бейлин, В. Н. Васильев [и др.] // Научно-методические материалы по вероятностным задачам авиационного вооружения / под ред. И. Е. Казакова ; ВВИА им. Н. Е. Жуковского. – М., 1978. – С. 3–12.
12. Разумов, О. С. Системные знания: концепция, методология, практика / О. С. Разумов, В. А. Благодатских. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 400 с.

УДК 681.518.22

Семенов, С. С.

Основные положения системного анализа при оценке технического уровня сложных систем с применением экспертного метода / С. С. Семенов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 45–53.

Семенов Сергей Сергеевич

кандидат технических наук,
руководитель группы анализа
и перспективного проектирования,
Государственное научно-производственное
предприятие «Регион»
(115230, Россия, г. Москва, Каширское шоссе, д. 13А)
(495) 741-55-55
E-mail: gnppregion@sovintel.ru

Аннотация. Обоснована актуальность проблемы оценки технического уровня сложных технических систем, в том числе с использованием знаний экспертов. Обосновывается значимость системного подхода и принципов системного анализа при формировании оценочных показателей и критериев оценки технического уровня систем. Приводится определение понятия «система» и их классификация. Рассмотрены способы выделения структуры систем, а также их классификация.

Ключевые слова: системный анализ, методы системного анализа, системный подход, сложная техническая система, структура системы, технический уровень, метод экспертной оценки.

Semenov Sergey Sergeevich

candidate of technical sciences,
chief of analysis and perspective design,
State research and production company «Region»
(115230, 13a Kashirskoe highway, Moscow, Russia)

Abstract. Before the urgency of the problem of evaluation of technical level of complex technical systems, including the use of expert knowledge. Justifying the relevance of systematic approach and principles of system analysis in forming the performance indicators and evaluation criteria of technical level of systems. Is the definition of the concept of «system» and their classification. How to highlight the structure of systems and their classification.

Key words: system analysis, techniques of systems analysis, systems approach, a complex technical system, structure, system, method of peer review.

**МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ****И. Т. Назарова, Д. И. Серебряков,
Т. Ю. Бростилова, Т. И. Мурашкина*****Введение***

В настоящее время современные и перспективные разработки авиационной, ракетно-космической и других отраслей техники нуждаются в определенной номенклатуре датчиков для информационно-измерительных, к которым предъявляют повышенные требования, в первую очередь, работоспособность в жестких условиях эксплуатации и обеспечение безопасности. Особенно это актуально при измерении уровня взрывоопасных жидкостей.

В настоящее время существующие датчики и системы измерения уровня жидкости, основанные на таких физических принципах, как емкостный, индуктивный и др., требуют в конструкции изделия дополнительных систем и контуров защиты от случайного проскакивания искры, так как для преобразования измерительной информации используют электрические сигналы. Это в свою очередь приводит к увеличению массы авиационной, ракетной и другой техники. Стоит задача в создании системы измерения уровня жидкости, отвечающей вышеупомянутым требованиям и исключающей недостатки существующих средств измерения уровня жидкости.

Описание конструкции

В работе [1] описан волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости, который частично решает поставленную задачу. Недостатками данного сигнализатора является отсутствие возможности контролировать несколько значений уровня жидкости.

Для полного решения поставленной задачи была предложена конструкция волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости (ВОСИУЖ) [2].

Недостатками данной системы является следующее:

- при регистрации уровня жидкости, движущейся перпендикулярно к оптической оси уровнемера (например, морская волна), точность регистрации будет невысокой;
- технологически сложно изготовить наконечник в виде конуса;
- при сборке технологически трудно протянуть через длинную трубу оптические волокна, собранные в жгуты, кроме того, при этом можно в местах стыка трубы и корпусов сломать отдельные волокна, а определить место поломки возможно только после подстыковки оптических волокон к приемникам излучения;
- полировать волокна целесообразно после вклеивания во втулки, в противном случае в процессе сборки полированная поверхность может быть поцарапана;
- если измеряется уровень агрессивной среды (например, кислотный электролит), то возможно нарушение герметичности узла «стержень-наконечник» из-за растворения клеящего состава.

Поэтому предложен модернизированный вариант ВОСИУЖ, в котором данные недостатки устранены (рис. 1).

ВОСИУЖ содержит источники излучения 1, например полупроводниковые светодиоды (лазеры), подводящие 2 и отводящие 3 оптические волокна, оптические стержни 4, Г-образные корпуса 5, состоящие из трех частей 6, 7, 8, трубу 9, заглушку 10, приемники излучения 11, например фотодиоды.

С источниками излучения 1 состыкованы подводящие оптические волокна 2, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Волоконно-оптический уровнемер содержит источники излучения 1, например полупроводниковые светодиоды, подводящие (ПОВ) 2 и отводящие (ООВ) 3 оптические волокна, оптиче-

ские стержни 4, корпуса 5, состоящие из трех частей: полых трубок 6, втулок 7 со сквозным внутренним отверстием, наконечников 8 с цилиндрическим сквозным отверстием, трубу 9, заглушку 10, приемники излучения 11, например фотодиоды.

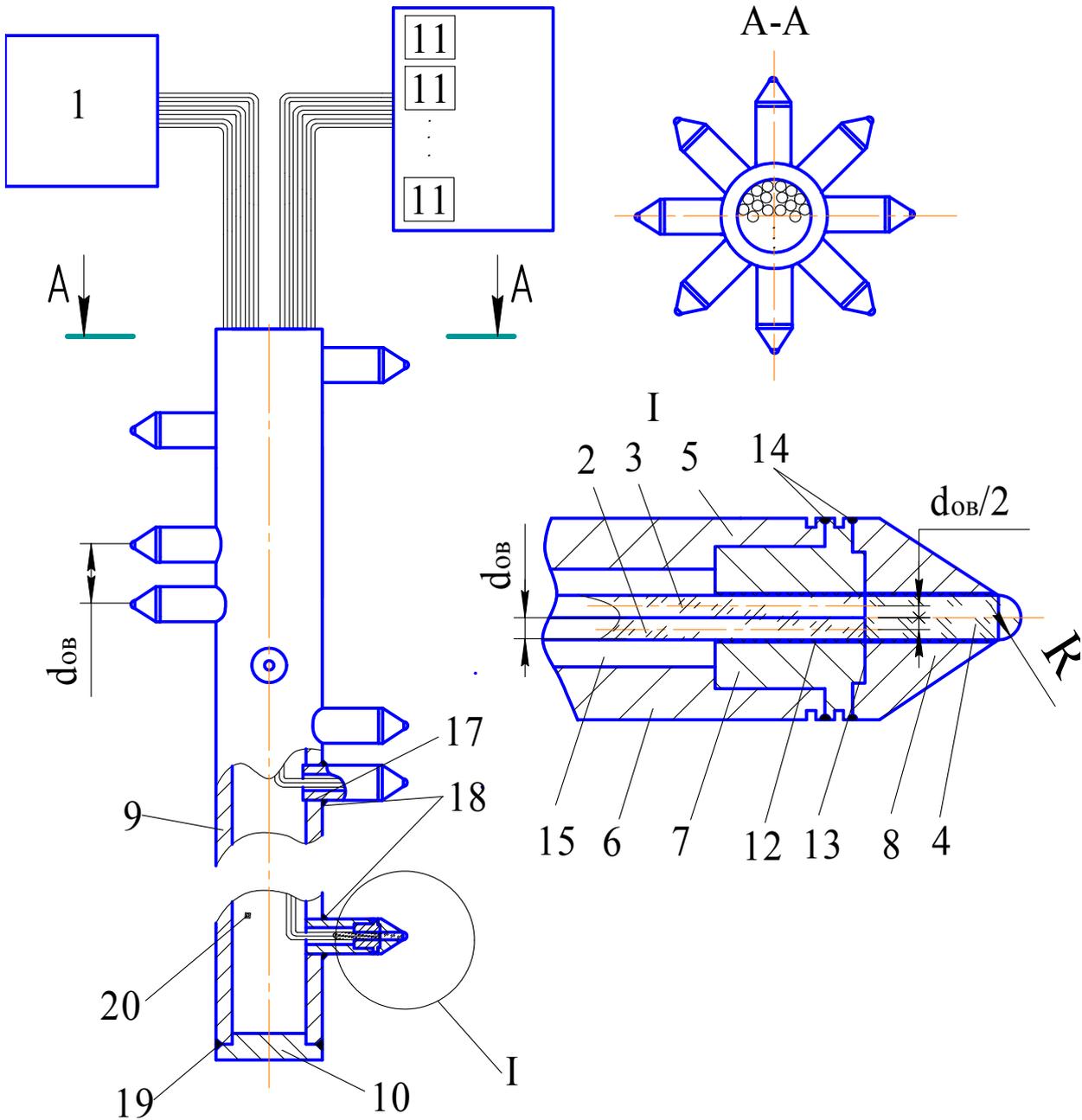


Рис. 1. Конструктивное исполнение модернизированной волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости

Наконечник 8 выполнен в виде цилиндра и усеченного конуса, причем цилиндр является основанием для усеченного конуса, малое основание которого обращено в сторону шаровидного сегмента стержня 4.

С источниками излучения 1 состыкованы ПОВ 2, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Стержни 4 имеют круглое сечение и выполнены с шаровидными сегментами на рабочем торце, обращенными в сторону жидкости, радиусом R , определяемым выражением

$$d_{\text{ов}} \leq R \leq 1,5d_{\text{ов}}, \quad (1)$$

где $d_{\text{ов}}$ – диаметр оболочки оптического волокна из оптически прозрачного материала, например, из кварцевого стекла, для которого выполняется условие:

$$n_{\text{ср}} < n_{\text{ж}} < n_1, \quad (2)$$

где $n_{\text{ср}}$, $n_{\text{ж}}$, n_1 – показатели преломления окружающей среды, жидкости и стержня соответственно.

Цилиндрическая часть стержней 4 закрепляется в наконечнике 8 корпуса 5 спеканием при высокой температуре, при этом шаровой сегмент выступает за пределы части 8 корпуса 5 на значение, равное R .

Подводящее оптическое волокно 2 и отводящее оптическое волокно 3 закреплены во втулке 7 корпуса 5 с помощью клея 12, обладающего большой упругостью. Втулки 7 устанавливаются в паз 13 наконечников 8. Части 6, 7, 8 корпуса 5 соединены между собой с помощью сварки 14, при этом центры торцов подводящего оптического волокна 2 и отводящего оптического волокна 3 смещены относительно центра торца стержня 4 на значение, равное $(d_{\text{ов}}/2 \dots 1,5d_{\text{ов}}/2)$. Внутренняя полость 15 корпуса 5 заполняется герметиком 16 (на фиг. 1 не показан) в целях исключения поломок оптических волокон при воздействии вибрации, ударов и т.п.

Количество корпусов 5 соответствует количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Труба 9 изготавливается длиной не менее максимального значения измеряемого уровня жидкости. Поперечное сечение трубы 9 может быть круглым или прямоугольным. На рис. 1 для примера приведена круглая труба. В трубе 9 просверлены сквозные отверстия 17 так, что их оси перпендикулярны продольной оси трубы. Например, как показано на рис. 1, отверстия 17 выполнены равномерно по спирали с равномерным шагом, соответствующим расстоянию между точками съема информации. Количество отверстий 17 соответствует количеству точек съема информации об уровне жидкости.

Корпуса 5 крепятся к трубе 9 с помощью сварки 18 так, чтобы отверстия в верхней части корпуса 5 были совмещены с отверстиями в трубе 9.

Герметизация трубы осуществляется с помощью заглушки 10, которая крепится к трубе 9 с помощью сварки 19. Внутренняя полость 20 трубы 9 заполняется герметиком 21 (на рис. 1 не показан) в целях исключения поломок оптических волокон при воздействии вибрации, ударов и т.п.

Отводящие оптические волокна 3, количество которых равно количеству точек съема информации об уровне жидкости, соединены с приемниками излучения 11.

Оптические волокна 2 и 3 проходят внутри трубы 9 и через отверстия 17 в трубе 9 протянуты к приемному торцу стержня 4.

Способ изготовления ВОСИУЖ заключается в следующем (рис. 2):

1) нарезают оптические волокна в количестве $2n$, где n – количество контролируемых точек уровня жидкости, причем длина L_i двух отдельных i -х волокон определяется соотношениями (3), когда точки контроля уровня жидкости равноудалены, соотношениями (4), когда точки контроля уровня жидкости распределены по длине емкости неравномерно;

2) равные по длине одно ПОВ 2 и одно ООВ 3 пропускают (начиная с самых длинных и далее последовательно по мере уменьшения их длины) через полые трубки 6 корпусов 5;

3) клеивают оптические волокна 2 и 3 с помощью клеящего состава 12 во втулки 7 таким образом, чтобы рабочие торцы оптических волокон 2 и 3 были расположены в плоскости поверхности втулок 7, обращенных к наконечнику 8. Наличие клеящего состава 12 на рабочих торцах волокон 2, 3 не допускается;

4) торцы оптических волокон 2 и 3, закрепленных во втулке 7, полируют;

5) спеканием при высокой температуре жестко закрепляют стержни 4 в наконечниках 8 таким образом, чтобы сферические сегменты располагались с узкой стороны конусов наконечников 8, а плоскости других торцов стержней 4 совпадали с основаниями цилиндров наконечников 8;

6) втулки 7 устанавливают в паз 13 наконечников 8;

7) наконечниками 8 прижимают втулки 7 с оптическими волокнами 2 и 3 к одному торцу полых трубок 6 корпусов 5;

8) части 6, 7, 8 корпуса 5 в местах их соединений сваривают между собой сваркой 14;

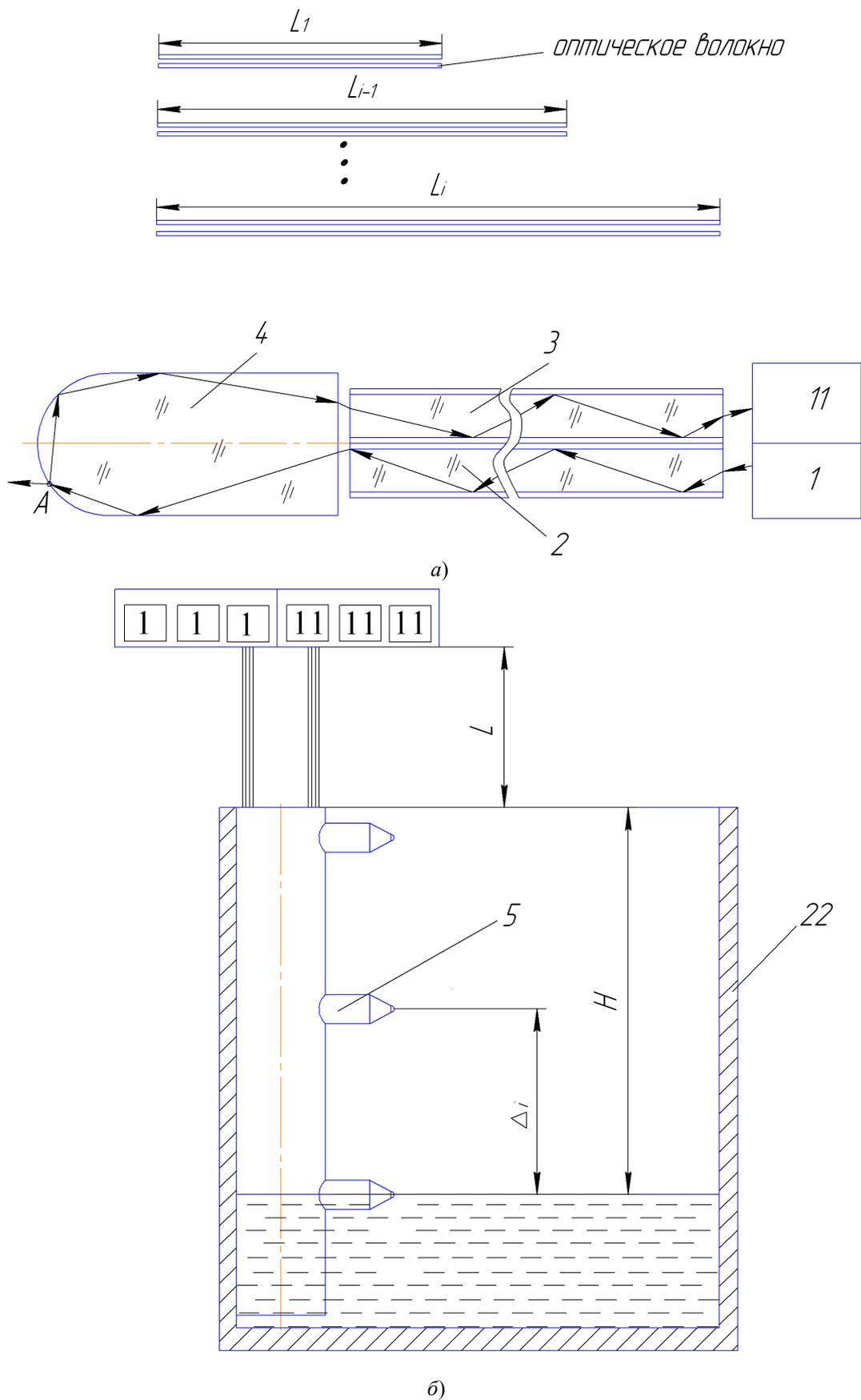


Рис. 2. Способ изготовления ВОСИУЖ:
 а – к определению длины оптических волокон;
 б – схема распространения света в оптическом канале ВОСИУ

9) внутренняя полость 15 собранных корпусов 5 заполняется герметиком 16 (на рис. 1 не показан);

10) с помощью приспособления в виде крючка через отверстия 17 в трубе 9, начиная с самого нижнего и перемещаясь вверх по трубе 9, протягивают свободные концы одного подводящего оптического волокна 2 и одного отводящего оптического волокна 3 последовательно, начиная с самых длинных, в сторону источников излучения 1 и приемников излучения 11;

11) корпуса 5 соединяют с трубой 9 в местах отверстий 17 с помощью сварки 18;

12) заглушкой 10 закрывают с нижнего конца трубу 9 и закрепляют с помощью сварки 19;

13) герметиком 21 (на рис. 1 не показан) заполняют внутреннюю полость 20 трубы 9;

14) свободные торцы подводящих оптических волокон 2 подводят к источникам излучения 1, а отводящих оптических волокон 3 – к приемникам излучения 11.

Один измерительный канал волоконно-оптического уровнемера работает следующим образом.

Излучение источника излучения 1 направляется по ПОВ 2 к стержню 4. Поток излучения, излучаемый торцом ПОВ 2, падает на входной торец стержня 4, преломляется и распространяется по нему путем переотражения от цилиндрической поверхности до шарового сегмента [3].

При отсутствии контакта шарового сегмента стержня 4 с жидкостью лучи света за счет выполнения условия полного внутреннего отражения отражаются от поверхности стержня 4 и возвращаются обратно к входному торцу стержня 4, преломляются и выходят из стержня 4, падая на приемный торец ООВ 3. По ООВ 3 поток излучения распространяется до приемника излучения 11, где происходит его преобразование в электрический сигнал.

При контакте шарового сегмента стержня 4 с жидкостью происходит нарушение условия полного внутреннего отражения, и большая часть излучения выходит из стержня (точка А на рис. 2), оставшаяся меньшая часть по ООВ 3 распространяется до приемника излучения 11.

Таким образом, наличие жидкости в зоне измерения соответствует высокий уровень напряжения приемника излучения 11, отсутствию жидкости – низкий уровень напряжения.

Аналогичным образом работают другие измерительные каналы волоконно-оптического уровнемера.

Повышение или понижение уровня жидкости в емкости 22 ведет к последовательному срабатыванию измерительных каналов. Сигналы с приемников излучения 11 в дальнейшем могут передаваться в систему обработки информации, которая может выдавать сигнал в виде последовательного дискретного повышения или понижения напряжения соответственно при повышении и понижении уровня жидкости, или обрабатывать индивидуально сигналы с каждого измерительного канала.

В предлагаемой конструкции волоконно-оптического уровнемера реализовано дискретное измерение уровня жидкости, что позволяет контролировать несколько значений уровня жидкости.

Предлагаемая новая конструкция волоконно-оптического уровнемера позволяет производить контроль уровня жидкости в требуемых точках емкостей, работоспособна в жестких условиях РКТ, обладает абсолютной искро-, взрыво-, пожаробезопасностью и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

Общее количество оптических волокон ВОСИУ равно $2n$, где n – количество контролируемых точек уровня жидкости, причем длина L_i двух отдельных i -х волокон определяется соотношениями (см. рис. 2):

а) когда точки контроля уровня жидкости равноудалены:

$$L_i \geq L + [H - (i-1)\Delta_i],$$

б) когда точки контроля уровня жидкости распределены по длине емкости неравномерно:

$$L_i \geq L + (H - \sum_{i=1}^n \Delta_i),$$

где L – длина участка от источника 1 или приемника излучения 11 до емкости 19 (см. рис. 3); H – высота емкости 19 (или расстояние от верхней границы емкости до последней точки съема информации); Δ_i – расстояние между ближайшими точками контроля (см. рисунок 2); $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер точки.

Заключение

Таким образом, предлагаемая конструкция ВОСИУ реализует дискретное измерение уровня жидкости, что позволяет контролировать несколько значений уровня жидкости в требуемых точ-

ках емкости, работоспособна в жестких условиях, обладает абсолютной искро-, взрыво-, пожаро- безопасностью, так как в качестве передающей среды используется световой поток и не требует сложных технологических и измерительных операций при изготовлении.

Список литературы

1. Патент РФ № 2297602, МПК G 01 F 23/22. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина. – Зарег. в госреестре 20.04.2007.
2. Патент РФ № 2399887. Волоконно-оптический уровнемер и способ его изготовления / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина, А. Г. Пивкин, А. В. Архипов, А. В. Мытарев. – Зарег. в госреестре 20.09.2010.
3. Патент РФ № 2297602. Волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости / Д. И. Серебряков, Т. И. Мурашкина. – Оpubл. 20.04.2007, Бюл. № 11.

УДК 681.586.5

Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости / И. Т. Назарова, Д. И. Серебряков, Т. Ю. Бростилова, Т. И. Мурашкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 54–59.

Назарова Инна Таджиддиновна

аспирант,
кафедра приборостроения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: uncate@yandex.ru

Серебряков Дмитрий Игоревич

начальник лаборатории,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
89063972491

Бростилова Татьяна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных
электроэнергетических систем,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: tat-krupkina@yandex.ru

Мурашкина Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор,
кафедра приборостроения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-84-59
E-mail: timurashkina.pgu@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ существующих датчиков и систем измерения уровня жидкости. Выявлены их недостатки и предлагается модернизированная конструкция волоконно-оптической системы измерения уровня жидкости.

Ключевые слова: волоконно-оптический сигнализатор уровня жидкости, оптические волокна, измерительный канал, источник излучения.

Nazarova Inna Tadzhydiddinovna

postgraduate student,
sub-department of instrumentation,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Serebryakov Dmitriy Igorevich

head of laboratory,
Research Institute physical measurements
(440026, 8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

Brostilova Tat'yana Yur'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of automated electric power systems,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Murashkina Tat'yana Ivanovna

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of instrumentation,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. The analysis of existing sensors and liquid level measurement. Revealed their shortcomings and offers streamlined design of fiber-optic liquid level measurement system.

Key words: system analysis, techniques of systems analysis, systems approach, a complex technical system, structure, system, method of peer review.

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОВЫСОТОМЕРНЫХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ

Н. С. Ившина, А. Е. Бухаров

Введение

Контрольно-проверочная аппаратура (КПА) предназначена для контроля работоспособности сложных технических систем, в том числе и радиовысотомерных систем (РВС), в течение всего периода эксплуатации и позволяет принимать решения о временном отключении аппаратуры до устранения дефекта или о ее снятии с эксплуатации для дальнейшего ремонта. Учитывая важность контрольно-проверочной аппаратуры в деле обеспечения бесперебойной работы РВС, при проектировании КПА также должны предъявляться высочайшие требования по ее надежности, выполнение которых позволило бы обеспечить работоспособность КПА в течение всего периода эксплуатации. Следовательно, формирование требований по надежности и их последующая оценка являются важнейшей частью работ по проектированию КПА [1–3].

В работе [4] представлена методика для технологической КПА, позволяющая сформировать требования по надежности в техническом задании (ТЗ) на разработку и произвести оценку надежности на всех этапах проектирования КПА, включая разработку опытного образца. Однако указанная методика не отражает специфики работы большинства КПА для РВС, а именно, циклический характер их работы. С учетом этого методика была существенно доработана.

Формирование требований по надежности на разработку КПА для РВС

На всех этапах проектирования КПА подразделяются на простые изделия – вид I и сложные – вид II (см. табл. 1 [4]). К изделиям вида I отнесены изделия, которые в процессе эксплуатации могут находиться либо в работоспособном, либо в неработоспособном состоянии (состоянии отказа). К изделиям вида II относятся изделия, которые в процессе эксплуатации, помимо двух состояний (работоспособном или неработоспособном), могут находиться и в частично неработоспособном состоянии с некоторым снижением эффективности функционирования.

Таблица 1

Показатели надежности КПА

Номенклатура показателей надежности	Вид КПА	Наименование показателя	Обозначение показателя
Показатели безотказности	I	Наработка на отказ	T
	II	Вероятность безотказной работы	$P(t)$
		Наработка на отказ	T
Показатель ремонтпригодности	I, II	Время восстановления	t_v
Показатели долговечности	I, II	Средний ресурс	T_{cp}
		Средний срок службы	$T_{c,cl}$
Комплексные показатели	I	Коэффициент готовности	K_g
	II	Коэффициент оперативной готовности	$K_{o.g.}$
		Коэффициент готовности	K_g

Перед выбором показателей надежности КПА устанавливаются критерии предельного состояния изделия [5]. Под критерием предельного состояния изделия понимают признак или совокупность признаков, установленных в эксплуатационной документации и характеризующих факт перехода изделия в состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна (из-за того, что для восстановления работоспособности требуется отправка изделия в

ремонтный орган), либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно (из-за больших затрат на восстановление работоспособного состояния).

При отсутствии технических требований к надежности разрабатываемой КПА задание числовых значений показателей надежности в ТЗ производится ориентировочно по формулам [4]:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ан}} T_{ан_i}}{N_{ан}} , \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{N \cdot \lambda_{ср}} , \quad (2)$$

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}} , \quad (3)$$

$$t_{в} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ан}} \pm t_{ван_i}}{N_{ан}} , \quad (4)$$

$$T_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ср_i}}{n} , \quad (5)$$

$$K_{г} = \frac{T}{T + t_{в}} , \quad (6)$$

$$K_{о.г} = K_{г} \cdot P(t) , \quad (7)$$

где $T_{ан_i}$ – наработка на отказ i -го аналога; $N_{ан}$ – количество рассматриваемых аналогов КПА; N – ориентировочное количество элементов в разрабатываемой КПА; $\lambda_{ср}$ – усредненное значение интенсивности отказов элементов при условии их равнонадежности; $t_{ван_i}$ – время восстановления i -го аналога (определяется по результатам эксплуатации аналогичных КПА); T – наработка на отказ КПА; $T_{ср_i}$ – средний ресурс ЭРИ i -го типа; $t_{в}$ – среднее время восстановления; $P(t)$ – вероятность безотказной работы КПА за время t ; $K_{г}$ – коэффициент готовности; $K_{о.г}$ – коэффициент оперативной готовности; t – суммарное время непрерывной работы КПА за определенный период эксплуатации КПА.

Расчет надежности КПА для РВС на стадии эскизного проекта

На стадии эскизного проекта в отсутствии полных данных о режимах и условиях работы электрорадиоизделий (ЭРИ), входящих в отдельные блоки, производится ориентировочный расчет надежности интенсивности отказов КПА [2]. При этом расчете учитываются только те элементы, которые входят в основную функциональную схему КПА.

Расчет на стадии эскизного проекта учитывает только влияние на надежность типа и количество применяемых ЭРИ.

На эскизном проекте интенсивность отказов КПА в условиях эксплуатации ($\lambda_{рэ}$) рассчитывается как

$$\lambda_{рэ} = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^N \lambda_{эi} \cdot n_i , \quad (8)$$

где L – количество составных частей в КПА; N – количество типов ЭРИ в составных частях; $\lambda_{эi}$ – эксплуатационная интенсивность отказов ЭРИ i -го типа, приведена в справочнике [4]; n_i – количество ЭРИ i -го типа в l -й составной части КПА.

Расчет надежности показателей безотказности и комплексных показателей производится по ориентировочным значениям $\lambda_{\text{рз}}$ -характеристик по формулам:

$$T = \frac{1}{\lambda_{\text{рз}}}, \quad (9)$$

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{рз}} \cdot t}, \quad (10)$$

$$K_z = \frac{T}{T + t_{\text{в}}}, \quad (11)$$

$$K_{\text{о.г}} = K_{\text{г}} \cdot P(t). \quad (12)$$

Среднее время восстановления определяется по результатам испытаний макетного или опытного образца как [4]

$$t_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{\text{в}i} \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad (13)$$

где $t_{\text{в}i}$ – среднее время восстановления i -й КПА, ч; n_i – количество вариантов КПА.

Средний ресурс $T_{\text{ср}}$ показателя долговечности определяется по статистическим данным, полученным по результатам эксплуатации установок по формуле [4]

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{ср}i}}{n}. \quad (14)$$

Таким образом, следует определять средний ресурс по выражению (14).

Расчет надежности КПА для РВС на этапах технического проектирования и разработки опытного образца

На этапе технического проектирования и разработки опытного образца, когда известны реальные режимы работы ЭРИ и блоков, производится полный уточненный расчет интенсивности отказов КПА [4]. Порядок расчета надежности КПА на этапах технического проектирования и разработки опытного образца следующий. Определяется принадлежность вида КПА (вид I или вид II). Для КПА вида II устанавливается число возможных уровней работоспособности. Составляется структурная схема расчета надежности. Для КПА вида II составляются расчетные схемы надежности для каждого уровня работоспособности.

Расчет интенсивности отказов ЭРИ, входящих в блоки, проводится с учетом влияния электрической нагрузки и температуры внутри блока.

На этапе технического проектирования и разработки опытного образца, при оценке надежности КПА, нельзя упускать из вида то обстоятельство, что большую часть времени при эксплуатации КПА может находиться в выключенном состоянии, хотя подвергается в это время довольно жестким воздействиям окружающей среды. Условия эксплуатации зачастую таковы, что КПА для РВС в основном включаются на короткие интервалы времени для контроля параметров. При циклической работе КПА в наибольшей степени подвержена отказам.

Значения интенсивностей отказов КПА рассчитываются по данным интенсивностей отказов комплектующих ЭРИ [6] по формулам:

– для режима работы:

$$\lambda_{\text{р}} = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^N \lambda_{\text{б}i} \cdot n_i \cdot K_{\text{р}i} \cdot K_{\text{з}i} \cdot \prod_{q=1}^Q K_{\text{q}i}, \quad (15)$$

– для режима хранения:

$$\lambda_{xp} = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^N \lambda_{бсгi} \cdot n_i \cdot K_{ysl} , \quad (16)$$

где L – количество блоков в приборе; N – количество типов элементов в l -м блоке; $\lambda_{бi}$ – базовая интенсивность отказов ЭРИ i -го типа в l -м блоке в номинальном режиме работы; n_i – количество ЭРИ i -го типа в l -м блоке; K_{pi} – коэффициент режима, учитывающий электрическую и тепловую нагрузки ЭРИ i -го типа; K_{zi} – коэффициент эксплуатации, учитывающий влияние механических, климатических воздействий окружающей среды на интенсивности отказов ЭРИ i -го типа; K_{qi} – коэффициент q -го вида элемента i -го типа в режиме работы; Q – количество видов коэффициентов, характерных для ЭРИ i -го типа в зависимости от электрических, тепловых, конструктивных факторов, методика подбора (расчета) которых приведена в справочнике [6]; $\lambda_{бсгi}$ – среднegrупповое значение интенсивности отказов ЭРИ i -го типа, находящегося в выключенном состоянии в нормальных условиях окружающей среды [6]; K_{ysl} – коэффициент, учитывающий условия хранения.

При отсутствии в справочниках характеристик на некоторые ЭРИ расчет ведется по формуле

$$\lambda_p = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^N \lambda_{бсгi} \cdot n_i \cdot K_{zi} . \quad (17)$$

Расчет наработки на отказ КПА в условиях эксплуатации проводится по формуле [7]

$$T = \frac{1}{\lambda_p \left(1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_p} \cdot \frac{t_x}{t_p} + \frac{\lambda_{ц}}{\lambda_p} \cdot \frac{N_{ц}}{t_p} \right)} , \quad (18)$$

где λ_p, λ_{xp} – интенсивности отказов КПА в режимах работы и хранения соответственно; $\lambda_{ц}$ – интенсивность отказов КПА на цикл включения-выключения ($\lambda_{ц} \approx \lambda_p$) [7]; t_p – наработка КПА за рассматриваемый срок эксплуатации; t_x – время хранения (нахождения в выключенном состоянии) за рассматриваемый срок эксплуатации; $N_{ц}$ – количество циклов включения в работу за срок эксплуатации.

Расчет надежности КПА ведется для рассчитанных значений коэффициента нагрузки ЭРИ, характеризующих наиболее тяжелые условия работы ЭРИ в составе КПА при максимально допустимой температуре внутри блоков.

Расчет ремонтпригодности производится по формуле (13).

Расчет показателей K_r и $K_{o,r}$ в общем виде производится по формулам [4]:

$$K_r = \frac{T}{T + t_b} , \quad (19)$$

$$K_{o,r} = K_r \cdot P(t) , \quad (20)$$

а при наличии встроенного автоматического контроля производится с учетом того, что расчетные формулы K_r зависят от схемно-конструктивного построения КПА [8]. Если установка контролируется полностью и непрерывно, то [4]

$$K_r = \frac{T}{T + t_b} = \frac{\mu}{\mu + \lambda_p} , \quad (21)$$

где μ – интенсивность восстановления, определяющаяся как отношение числа восстановленной системы за период времени к суммарному времени восстановления за тот же период.

Если КПА контролируется полностью через равные промежутки времени, то

$$K_r = \frac{1 - e^{-\lambda_p \cdot T_{np}}}{\gamma \left[T_{np} + \frac{1}{\mu} \left(1 + e^{-\lambda_p \cdot T_{np}} \right) \right]} , \quad (22)$$

где $T_{пр}$ – периодичность контроля КПА; γ – полнота контроля, которая представляет собой условную вероятность обнаружения факта отказа КПА, если КПА действительно отказала.

Если КПА контролируется через случайные промежутки времени, распределенные по экспоненциальному закону, то

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_p}{\nu} + \frac{\lambda_p}{\mu}}, \quad (23)$$

где ν – параметр экспоненциального распределения между контрольными проверками.

Если часть КПА контролируется непрерывно, а другая часть проверяется через случайные промежутки времени, распределенные по экспоненциальному закону, то

$$K_{\Gamma} = \frac{\mu(\lambda_k + \nu)}{(\lambda_k + \nu)(\mu + \lambda_k) + \lambda_n(\mu + \nu + \lambda_k)}, \quad (24)$$

$$\lambda_n = \lambda_p - \lambda_k,$$

где λ_k , λ_n – интенсивности отказов контролируемой и неконтролируемой части КПА соответственно.

Если часть КПА контролируется непрерывно, а другая (неконтролируемая) проверяется только при возникновении отказа в контролируемой части, то

$$K_{\Gamma} = \frac{\mu_i \cdot \lambda_k}{\lambda_p(\mu + \lambda_k)}. \quad (25)$$

Таким образом, коэффициент готовности следует определять согласно выражениям (21)–(25).

Заключение

Отметим, что предложенная методика, устанавливающая номенклатуру основных показателей надежности КПА и порядок расчета этих показателей, может быть использована для ориентировочной и уточненной оценки надежности при разработке и изготовлении, как для КПА для РВС, так и для КПА других систем, имеющих циклический характер работы.

Материалы расчетов надежности согласно программе обеспечения надежности на этапе разработки, выполненной в соответствии с [9] и с вышеприведенной методикой, оформляются в виде отчета (пояснительной записки) с расчетом надежности.

Список литературы

1. Эксплуатационная надежность и режимы технического обслуживания самолетов / Н. Н. Смирнов, А. М. Андронов [и др.]. – М. : Транспорт, 1974. – 267 с.
2. Бухаров, А. Е. Оценка надежности радиовысотометров с учетом предварительной информации / А. Е. Бухаров, Н. К. Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2007. – № 4. – С. 176–186.
3. Жихарев, И. А. Оценка показателей безотказности авиационных радиовысотометров по результатам эксплуатации / И. А. Жихарев, А. Е. Бухаров, Н. К. Юрков // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 373–376.
4. Инженерная методика расчета надежности технологической контрольно-измерительной аппаратуры / Н. Н. Смирнов, А. М. Андронов [и др.]. // Вопросы радиоэлектроники. Технология производства и обслуживание. – 1985. – № 2. – С. 119–125.
5. ГОСТ РВ 15.702-94. СРППП. Военная техника. Порядок установления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения.
6. Надежность электрорадиоизделий : справочник. – М. : 22 ЦНИИ Минобороны России, РНИИ «Электронстандарт», 2006.
7. Бухаров, А. Е. Оценка надежности при циклической работе радиовысотометров на различных этапах испытаний, отработки и эксплуатации / А. Е. Бухаров, А. А. Иофин, Г. И. Смирнова // Надежность и качество : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2006. – Т. 2. – С. 30–32.

8. ОСТ4 ГО.012.031. Системы управления автоматизированные. Методика расчета надежности. Редакция 1-73.
9. ГОСТ РВ 27.1.02-2005 Надежность ВТ. Программа обеспечения надежностью. Общие требования.

УДК 621.3.019.34

Ившина, Н. С.

К проблеме повышения надежности радиовысотомерных систем на этапе разработки /
Н. С. Ившина, А. Е. Бухаров // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 60–65.

Ившина Наталья Сергеевна

начальник бюро надежности,
Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь»
(623409, Россия, г. Каменск-Уральский,
ул. Пионерская, 8)

Бухаров Алексей Евгеньевич

кандидат технических наук,
заместитель генерального директора по качеству,
Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь»
(623409, Россия, г. Каменск-Уральский,
ул. Пионерская, 8)
E-mail: alexeybuharov@yandex.ru

Аннотация. Показано, что в комплексе мероприятий по обеспечению надежности и поддержанию в состоянии постоянной исправности при эксплуатации радиовысотомерных систем большое значение имеет оценка их работоспособного состояния при помощи контрольно-проверочной аппаратуры. Подобная оценка способна установить степень нормального функционирования систем или обнаружить неисправность, а также определить место неисправности и предупредить появление отказа.

Ключевые слова: надежность, контроль, радиовысотомер, аппаратура, проверка, работоспособность, эксплуатация.

Ivshina Nataliya Sergeevna

chief of bureau of reliability,
Ural design bureau «Detal'»
(623409, 8 Pionerskaya street,
Kamensk-Ural'skiy, Russia)

Bukharov Aleksey Evgen'evich

candidate of technical sciences,
deputy general director of quality,
Ural design bureau «Detal'»
(623409, 8 Pionerskaya street,
Kamensk-Ural'skiy, Russia)

Abstract. It is shown that in the complex arrangements to ensure the reliability and maintenance in a perpetual state of health when using radiovysotomernyh systems, it is very important to score their healthy state by means of verification equipment. Such an assessment can determine the proper functioning of the systems or detect the fault, as well as determine where faults and prevent rejection.

Key words: reliability, control, radio altimeter, equipment, inspection, operation.

НАДЕЖНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ТОНКОГО КЛИЕНТА И РАБОЧИХ СТАНЦИЙ

С. Н. Полесский, М. А. Карапузов, В. В. Жаднов

Развитие локальных вычислительных сетей (ЛВС) стоит перед двумя перспективами: продолжать проектировать ЛВС, где абонентами выступают традиционные «рабочие станции» (РС), или же вместо РС использовать так называемые «тонкие клиенты» (далее по тексту будет использоваться в качестве синонима «терминальные станции»).

В настоящее время все чаще употребляется термин «тонкий клиент», когда под этим термином подразумевается достаточно широкий с точки зрения системной архитектуры ряд устройств и программ, которые объединяются общим свойством: возможность работы в терминальном режиме.

Преимущество РС перед тонким клиентом состоит в независимости от наличия работоспособной сети – обработка информации будет происходить и в момент ее отказа, так как в случае использования РС обработка информации происходит непосредственно самими станциями.

В случае использования работы тонкого клиента необходим терминальный сервер. Но при этом тонкий клиент обладает минимальной аппаратной конфигурацией, вместо жесткого диска для загрузки локальной специализированной операционной системой (ОС) используется *DOM* (*DiskOnModule* – модуль с разъемом *IDE*, флэш-памятью и микросхемой, реализующей логику обычного жесткого диска, который в *BIOS* определяется как обычный жесткий диск, только размер его обычно в 2–3 раза меньше). В некоторых конфигурациях системы тонкий клиент загружает операционную систему по сети с сервера, используя протоколы *PXE*, *BOOTP*, *DHCP*, *TFTP* и *Remote Installation Services (RIS)*. Минимальное использование аппаратных ресурсов является главным преимуществом тонкого клиента перед РС [1].

В связи с этим возникает вопрос: что лучше использовать для проектирования ЛВС с точки зрения надежности [1] – тонкий клиент или традиционные РС?

Для ответа на этот вопрос проведем сравнение показателей надежности типовой схемы ЛВС, построенной по топологии «звезда» для двух вариантов ее реализации. В первом варианте ЛВС построена на базе тонких клиентов, а во втором – на базе РС. Для упрощения оценки показателей надежности ЛВС рассмотрим небольшую корпоративную сеть отдела (предприятия), состоящую из 20–25 типовых устройств.

Допустим, что исследуемый отдел занимается конструкторскими работами, используя соответствующее программное обеспечение (ПО). Типовая ЛВС такого отдела на базе РС должна содержать рабочие станции, сервер, принтер. Все устройства объединяются в сеть через коммутатор (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема соединения устройств в ЛВС на базе РС

В состав типовой ЛВС на базе тонкого клиента входят терминальные станции, сервер, принтер, а также терминальный сервер, который обеспечивает доступ пользователей через тонкий клиент к необходимым для работы ресурсам. Все устройства объединены в сеть через коммутатор (рис. 2).



Рис. 2. Схема соединения устройств в ЛВС на базе терминальных станций

Сформулируем критерии отказов [1]. Для этого необходимо определить, какие неисправности элементов являются критичными для выполнения заданных функций сети. Пусть на отдел (предприятие) выделено 20 рабочих мест, и загрузка отдела позволяет оставить два рабочих места в резерве. Остальные 18 рабочих мест используются непрерывно в течение всего рабочего дня (8 часов в сутки).

Исходя из этого отказ более чем двух РС (терминальных станций) приведет к отказу всей ЛВС. Отказ сервера, отказ одного из терминальных серверов (для ЛВС на основе только тонкого клиента) и отказ коммутатора также приводят к отказу всей ЛВС. Отказ принтера не является критичным, так как задачи отдела напрямую не связаны с непрерывным его использованием и поэтому при оценке надежности он не учитывается. Отказ коммутирующей сети проводов также не учитывается, так как в обоих вариантах реализации ЛВС набор соединений практически одинаковый, а величина интенсивности отказов пренебрежимо мала.

Отказы таких элементов РС, как внешнее запоминающее устройство, монитор, клавиатура, мышь, видеокарта, системная плата, процессор, система охлаждения, блок питания, оперативное запоминающее устройство, являются критичными для РС и ведут к ее отказу.

Принимая во внимание условия функционирования ЛВС и критерии отказов, построим структурные схемы надежности (ССН) для разных уровней разукрупнения [2, 3].

На верхнем уровне рассматривается совокупность устройств, ССН которой представляет собой группу «последовательное соединение» [3] трех блоков (коммутатор, сервер, коммутирующая сеть) и резервированной группы (рабочая группа из терминальных или рабочих станций).

Структурные схемы надежности приведены на рис. 3 (для ЛВС на базе РС) и на рис. 4 (для ЛВС на базе тонкого клиента).

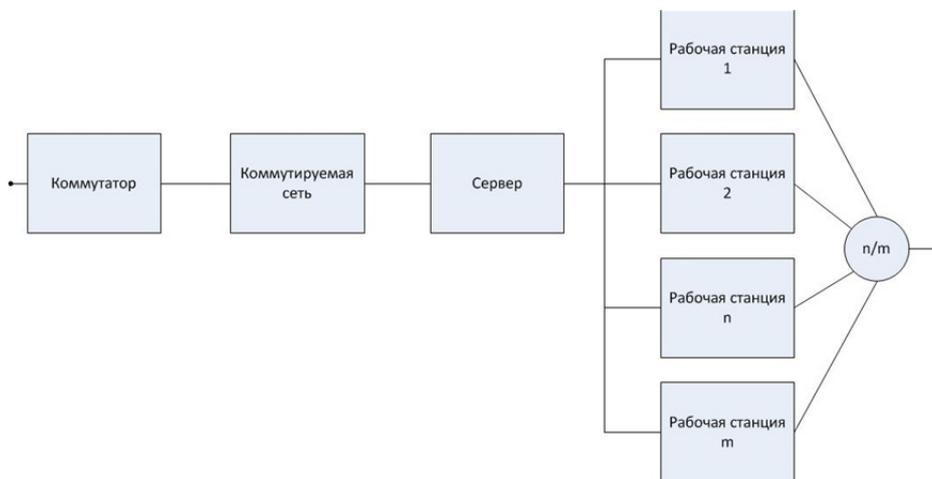


Рис. 3. Структурная схема надежности ЛВС на базе РС

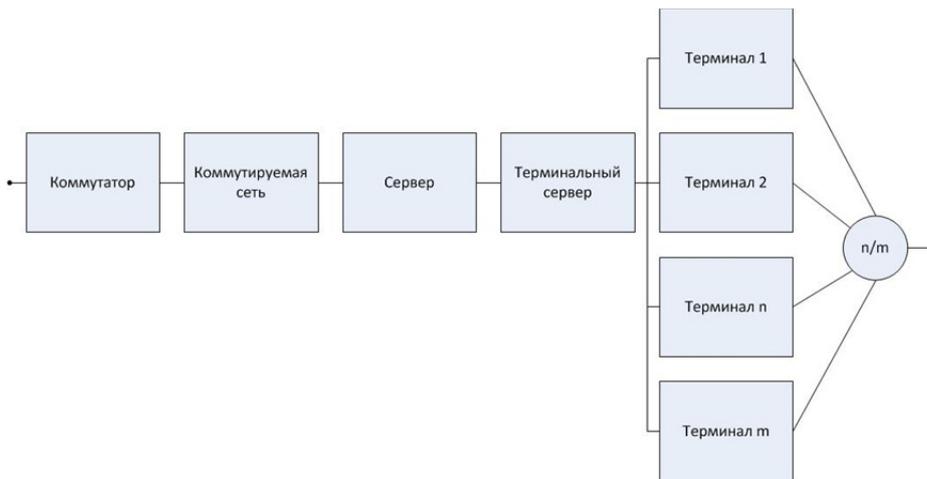


Рис. 4. Структурная схема надежности ЛВС на базе тонкого клиента

На следующем уровне разукрупнения рассматривается совокупность рабочих / терминальных станций, ССН которых представляет собой группу «скользящее резервирование n из m » [3] двадцати блоков (18 основных рабочих/терминальных станций резервируется двумя станциями, каждая из которых может заменить любую отказавшую основную).

На нижнем уровне рассматривается совокупность элементов рабочей станции, ССН которых представляет собой группу «последовательное соединение» [3] десяти блоков (монитор, процессор, оперативная память, жесткий диск, клавиатура, мышь, блок питания, системная плата, система охлаждения, видеокарта).

Расчет надежности ЛВС проводится в два этапа:

- во-первых, рассчитывается (определяется) надежность элементов в отдельности,
- во-вторых проводится расчет надежности ЛВС в целом.

Типовая схема проведения расчета надежности ЛВС, выполненная в нотациях IDEF0 [4], представлена на рис. 5.

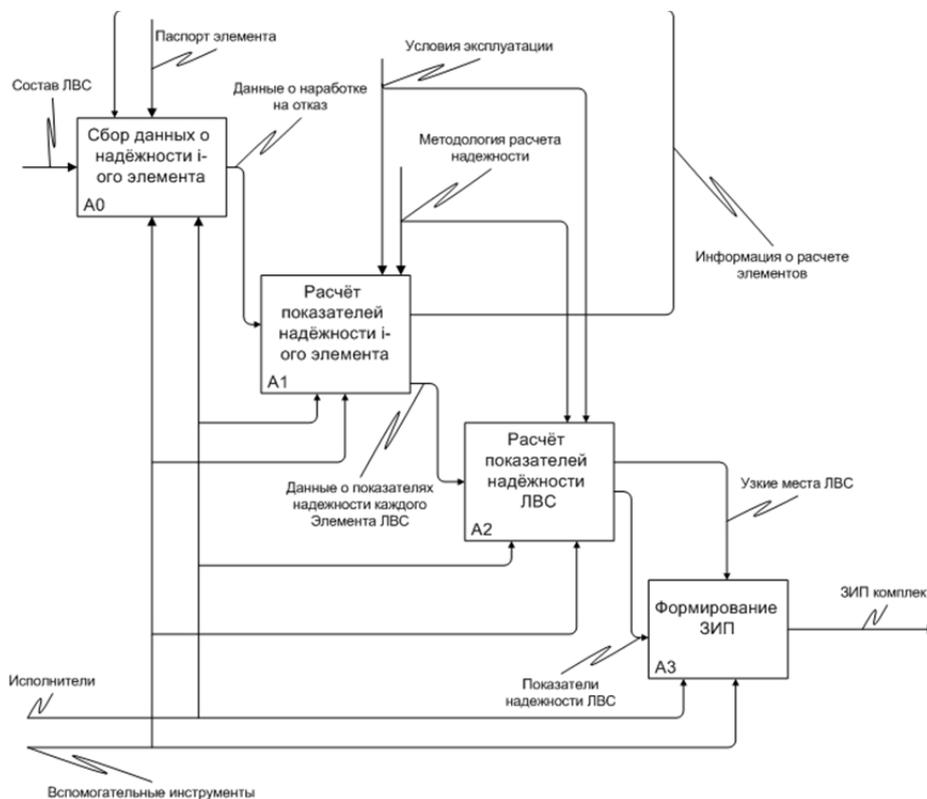


Рис. 5. IDEF0: типовая схема проведения расчета надежности ЛВС

Отметим, что хотя на схеме и присутствует расчет оптимальных запасов комплекта ЗИП (блок А3 на рис. 5), в данной статье эта задача не рассматривалась.

Значения наработки на отказ для каждого элемента ЛВС получены на основе данных, приведенных на официальных сайтах производителей и в информационно-справочной базе данных [5, 6]. Перечень элементов ЛВС и их показатели надежности приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели надежности элементов ЛВС

Наименование элемента	Показатели надежности	
	Средняя наработка на отказ	Среднее время восстановления
Монитор Samsung 957MB	750 000	4 часа для PC в сборе (по данным реальной эксплуатации)
Мышь HP	100 000	
Клавиатура HP	100 000	
Системная плата Intel DP55WP	100 000	
Блок питания Intel	100 000	
Система охлаждения Intel	55 000	
Процессор Intel Core i7	550 000	
Оперативная память Kingston DDR3 KVR1066D3N7/4G 4GB x2	500 000	
Видеокарта GeForce GT 240	55 000	
Жесткий диск любого производителя	500 000	
Коммутатор SRW2024 – 24-Port 10/100/1000 Gigabit Switch	98 690	
Серверы Intel	45 000–55 000	4
Терминальная станция Kingsem UTC55i Ultra Thin Client	400 000	3

На рис. 6 приведена гистограмма [5], построенная по данным табл. 1, на которой показано распределение средних наработок на отказ элементов PC и коммутатора.

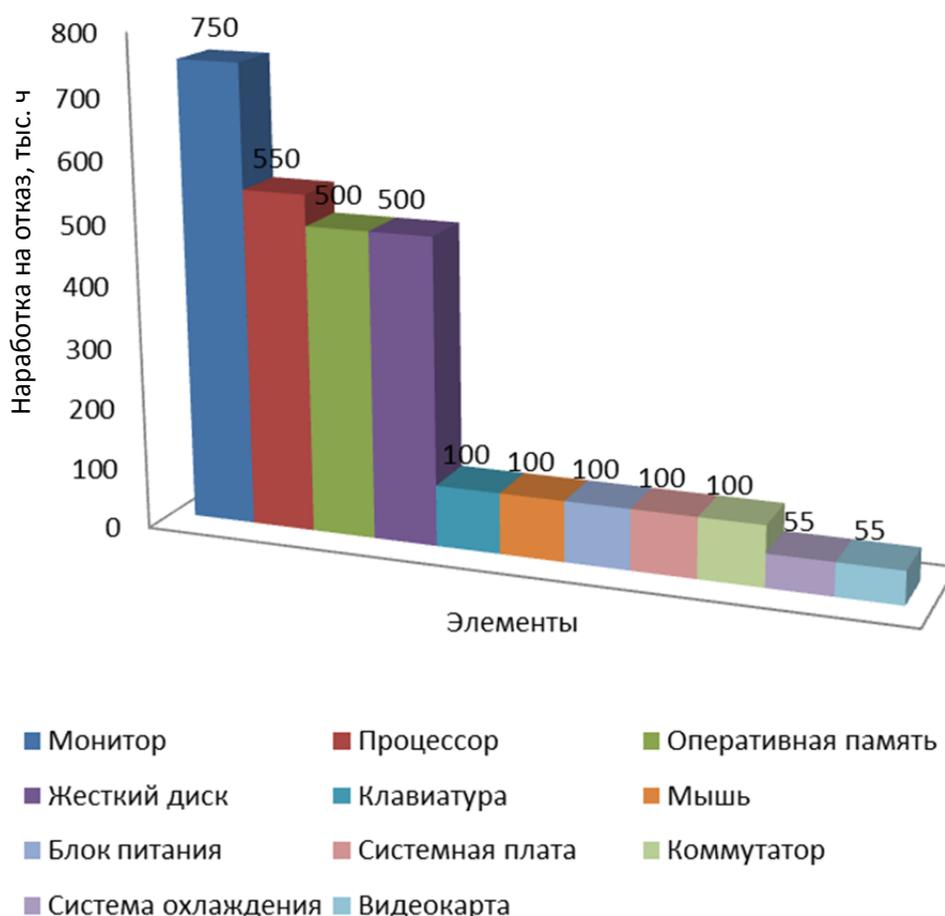


Рис. 6. Гистограмма распределения средних наработок на отказ элементов PC

Как видно из рис. 6, наихудшие значения имеют видеокарта и система охлаждения (55000 часов). Именно эти элементы входят в состав РС и отсутствуют в составе терминальной станции, что очевидно скажется на показателях их надежности.

Оценка средней наработки на отказ проводится в соответствии с ОСТ 4Г 0.012.242-84 [3] по следующей формуле:

$$T_O = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{Oi}}},$$

где T_{Oi} – средняя наработка на отказ i -го отдельного элемента ССН.

Коэффициент готовности рассчитывается по формуле [7, 8]:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_O}{T_O + T_B}.$$

Средняя наработка на отказ совокупности рабочих/терминальных станций, представляющих собой резервированную группу, рассчитывается по формуле:

$$T_O = \frac{1}{\lambda} \frac{\sum_{i=0}^m C_N^i (\lambda T_{BЭ})^i}{C_N^m (\lambda T_{BЭ})^m},$$

где m – количество резервных элементов; N – общее количество элементов; λ – интенсивность отказов одного элемента; $T_{BЭ}$ – среднее время восстановления одного элемента.

Среднее время восстановления такой системы рассчитывается по формуле:

$$T_{BЭ} = \frac{T_{BЭ}}{m+1}.$$

Проведем расчет средней наработки на отказ для схемы, представленной на рис. 2. Рассчитаем значение наработки на отказ для одной РС:

$$T_{Ows} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{Oi}}} = 9643 \text{ ч.}$$

На рис. 7 приведена гистограмма распределения средних наработок на отказ составных частей ЛВС.

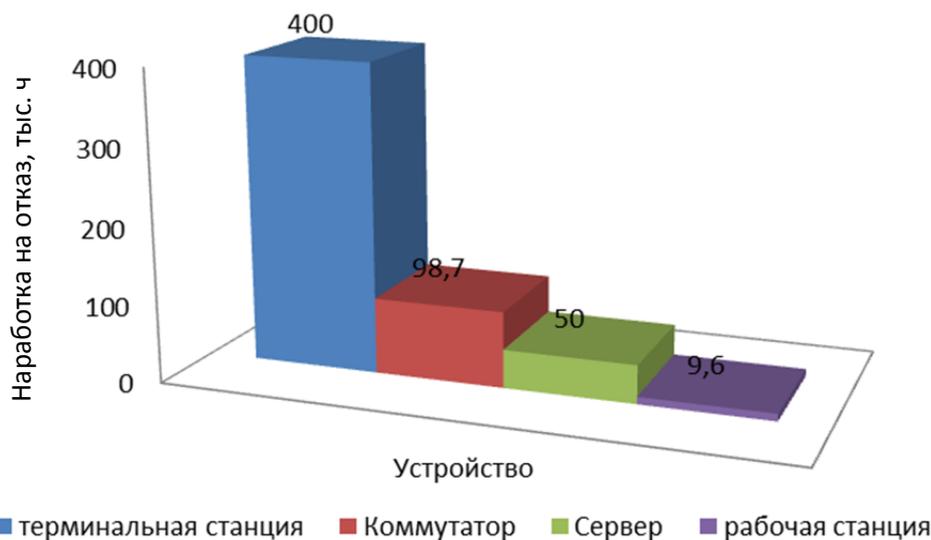


Рис. 7. Гистограмма распределения средних наработок на отказ составных частей ЛВС

Как видно из рис. 7, средняя наработка на отказ терминальной станции на несколько порядков выше, чем у сервера и РС.

Оценим среднюю наработку на отказ для резервированной группы РС:

$$T_{Owssys} = \frac{1}{\lambda} \frac{\sum_{i=0}^m C_N^i (\lambda T_{BЭ})^i}{C_N^m (\lambda T_{BЭ})^m} = 2.32 \times 10^4 \text{ ч.}$$

Среднее время восстановления для такой системы равно

$$T_B = \frac{T_{BЭ}}{m+1} = 8 \text{ ч.}$$

Коэффициент готовности равен

$$K_{Гwssys} = \frac{T_{Owssys}}{T_{Owssys} + T_B} = 0,999655.$$

Средняя наработка на отказ для одного сервера составит

$$T_{Oserv} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{Oi}}} = 43662 \text{ ч.}$$

Проведем расчет средней наработки на отказ для схемы, представленной на рис. 3:

$$T_{O1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{Oi}}} = 13130 \text{ ч.}$$

$$T_{Otsys} = \frac{1}{\lambda} \frac{\sum_{i=0}^m C_N^i (\lambda T_{BЭ})^i}{C_N^m (\lambda T_{BЭ})^m} = 8,78 \cdot 10^5 \text{ ч.}$$

$$T_B = \frac{T_{BЭ}}{m+1} = 1 \text{ час;}$$

$$K_{Гwssys} = \frac{T_{Owssys}}{T_{Owssys} + T_B} = 0,999998 ;$$

$$T_{O2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{Oi}}} = 17520 \text{ ч.}$$

Результаты расчетов показателей надежности составных частей ЛВС на базе терминальных и рабочих станций сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов показателей надежности составных частей ЛВС

Наименование	ЛВС на базе РС			ЛВС на базе терминальных станций		
	Количество, шт.	на 1 шт.		Количество, шт.	на 1 шт.	
		T ₀ , ч	T _B , ч		T ₀ , ч	T _B , ч
Сервер	1	43662	4	1	43662	4
Терминальный сервер	–	–	–	1	43662	4
Коммутатор	1	98690	4	1	98690	1
Рабочая станция	20	9643	4	–	–	–
Терминальная станция	–	–	–	20	400000	3

Коэффициент готовности для ЛВС на базе РС:

$$K_{Г1} = \prod_{i=1}^n K_{Гi} = 0,99955$$

Коэффициент готовности для ЛВС на базе тонкого клиента:

$$K_{Г2} = \prod_{i=1}^n K_{Гi} = 0,99981$$

Среднее время восстановления для ЛВС на базе РС:

$$T_{В1} = T_{О1} \frac{1 - K_{Г1}}{K_{Г1}} = 6,03 \text{ ч.}$$

Среднее в восстановления для ЛВС на базе тонкого клиента:

$$T_{В2} = T_{О2} \frac{1 - K_{Г2}}{K_{Г2}} = 3,26 \text{ ч.}$$

Расчетные значения средней наработки на отказ, времени восстановления и коэффициента готовности для двух реализаций ЛВС из 20 станций с учетом двух резервных представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение показателей надежности ЛВС

Тип ЛВС	Показатель надежности		
	T_0 , ч	T_B , ч	K_G
На базе РС	$1,313 \cdot 10^4$	6,03	0,99955
На базе тонкого клиента	$1,75 \cdot 10^4$	3,26	0,99981

Из табл. 3 видно, что коэффициент готовности для ЛВС на базе РС меньше, чем у аналогичной ЛВС на базе тонкого клиента. Среднее время наработки на отказ для ЛВС на базе тонкого клиента больше, чем у схемы ЛВС на базе РС, а среднее время восстановления ниже. Приведенное сравнение показывает, что реализация ЛВС на базе 20 терминальных станций, две из которых находятся в резерве, оказывается надежнее, чем ее реализация на базе рабочих станций.

Подводя итоги проведенного анализа, можно утверждать, что более надежным типом является ЛВС на базе терминальных станций. С практической точки зрения это показывает, что переход к созданию ЛВС на базе тонкого клиента является целесообразным и с позиций надежности.

Внедрение ЛВС, состоящих из терминальных станций в совокупности с «облачным» ПО, может существенно сказаться на повышении уровня автоматизации, качества и надежности функционирования предприятий.

Список литературы

1. ГОСТ 27.009-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
2. ГОСТ Р 51901.14-2005 (МЭК 61078:1991). Метод структурной схемы надежности. – М. : Стандартинформ, 2005. – 38 с.
3. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Методика расчета показателей надежности. – М., 1985. – 49 с.
4. Р 50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – М. : Госстандарт России, 2001. – 78 с.
5. Прогнозирование качества ЭВС при проектировании : учеб. пособие / В. В. Жаднов, С. Н. Полесский, С. Э. Якубов, Е. М. Гамилова. – М. : СИНЦ, 2009. – 191 с.
6. Жаднов, В. В. Оценка качества компонентов компьютерной техники. / В. В. Жаднов, С. Н. Полесский, С. Э. Якубов // Надежность. – 2008. – № 3. – С. 26–35.

7. Расчет надежности компьютерных систем : учеб. пособие / Е. П. Власов, В. В. Жаднов, И. В. Жаднов, В. И. Корнейчук, М. В. Олейник, С. Н. Полесский. – Киев : Корнейчук, 2003. – 187 с.
8. Основы теории надежности электронных средств : моногр. / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – 100 с.

УДК 621.396.6

Полесский, С. Н.

Надежность локальной вычислительно сети на базе тонкого клиента и рабочих станций /

С. Н. Полесский, М. А. Карапузов, В. В. Жаднов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 66–74.

Полесский Сергей Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий
и автоматизированных систем,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3)
(495) 916-88-80
E-mail: spolessky@hse.ru

Карапузов Михаил Александрович

магистрант,
кафедра информационных технологий
и автоматизированных систем,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3)
(495) 916-88-80
E-mail: pinv@bk.ru

Жаднов Валерий Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3)
(495) 916-88-80
E-mail: vzhadnov@hse.ru

Аннотация. Приводится сравнение двух вариантов реализации ЛВС с использованием тонких и толстых клиентов по критерию надежности. Приведены результаты расчетов надежности ЛВС, которые доказывают преимущество ЛВС, построенных с использованием тонких клиентов (терминальных станций).

Ключевые слова: электронно-вычислительные средства, локальные вычислительные сети, надежность.

Polesskiy Sergey Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies
and automated systems,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
(109028, 3 B. Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia)

Karapuzov Mikhail Aleksandrovich

master,
sub-department of information technologies
and automated systems,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
(109028, 3 B. Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia)

Zhadnov Valeriy Vladimirovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio electronic
and telecommunications,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
(109028, 3 B. Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia)

Abstract. The article gives a comparison of the two variants of realization of a LAN using thin and thick clients on the criterion of reliability. Results of calculations of reliability LAN that prove the advantage LAN, built with the use of thin clients (terminal station).

Key words: computers, local area network, reliability.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский,
И. А. Иванов, А. В. Лысенко

В стандартах ISO серии 9000 приведены процедуры системы качества, направленные на обеспечение и гарантию реализации заложенных уровней надежности. Поэтому очевидно, что в ряде этапов жизненного цикла сложных электронных систем (СЭС) ответственного назначения особое место занимает этап проектирования, так как именно на этом этапе закладывается та надежность, которая будет реализована при изготовлении и поддерживаться при эксплуатации, что особенно важно для современных СЭС, у которых:

- усложняется структура объектов установки (носителей) и самих СЭС;
- возрастают риски на всем протяжении жизненного цикла СЭС (разработка и проектирование, производство и испытания, эксплуатация и обслуживание);
- растет критичность отказов электронных средств (ЭС) и их последствий не только для предприятий-разработчиков и эксплуатирующих организаций;
- увеличивается стоимость «ошибки» (отказа как такового, мероприятий по его устранению, перепроектированию, нерационально организованного технического обслуживания и ремонта);
- растет роль «человеческого фактора».

Это нашло прямое отражение в [1], что подтверждает хотя бы простое сравнение объемов типовых перечней мероприятий по обеспечению надежности и функциональной безопасности СЭС на разных этапах ее жизненного цикла. Если принять во внимание, что разработка СЭС представляет собой итерационный процесс поиска оптимального (Парето оптимального) решения по критерию обеспечения требуемого уровня качества в рамках заданных ограничений, то становится ясной важность именно ранних стадий (эскизного проектирования (ЭП) и технического проектирования – ТП). Результатом проведения мероприятий «Программы обеспечения надежности при разработке» (ПОНр) на этих этапах должна быть минимизация числа вариантов построения сложных СЭС и общего числа итераций всего процесса проектирования.

С другой стороны, также очевидна органическая связь задач обеспечения надежности и качества: группа показателей надежности входит в номенклатуру групп показателей качества, а характеристики надежности СЭС относятся к тем показателям, для которых возможна (и необходима!) количественная оценка, что позволяет оценить уровень функциональной безопасности [2]. На ранних этапах проектирования получение численных значений характеристик надежности немислимо без широкого использования методов математического моделирования, в первую очередь, вероятностных, что также нашло свое отражение в [1, 3]. Здесь сознательно не упоминаются экспериментальные методы обеспечения надежности, базирующиеся на исследованиях и испытаниях макетных и опытных образцов, так как их уверенно вытесняют методы математического моделирования, и удельный вес этих методов ранних этапах проектирования СЭС постоянно снижается.

На рис. 1 приведена функциональная модель процесса применения методов математического моделирования, отражающая последовательность решения задач при проектировании СЭС. В названиях блоков на рис. 1 отражены задачи, а в круглых скобках даны условные номера методов, применяемых при решении каждой из них. Так, например, блоки А1 и А2 предусматривают применение по определенному алгоритму методов управления проектами, управления электрон-

ным документооборотом, а также методов синтеза математических моделей, основанных на использовании различных моделей. Применение моделей различного вида позволяет исследовать, например, схему принципиальную электрическую СЭС, как на уровне электронных модулей (ЭМ) – структурная модель, так и на уровне электрорадиоизделий (ЭРИ) – топологическая модель. Блок А5 предусматривает применение по определенному алгоритму методов управления проектами, управления электронным документооборотом, а также синтез топологических моделей физических процессов, протекающих в ЭС (электрических, тепловых, механических, радиационных и др.), и моделей монтажного пространства, применяемых для задач размещения и трассировки [1].

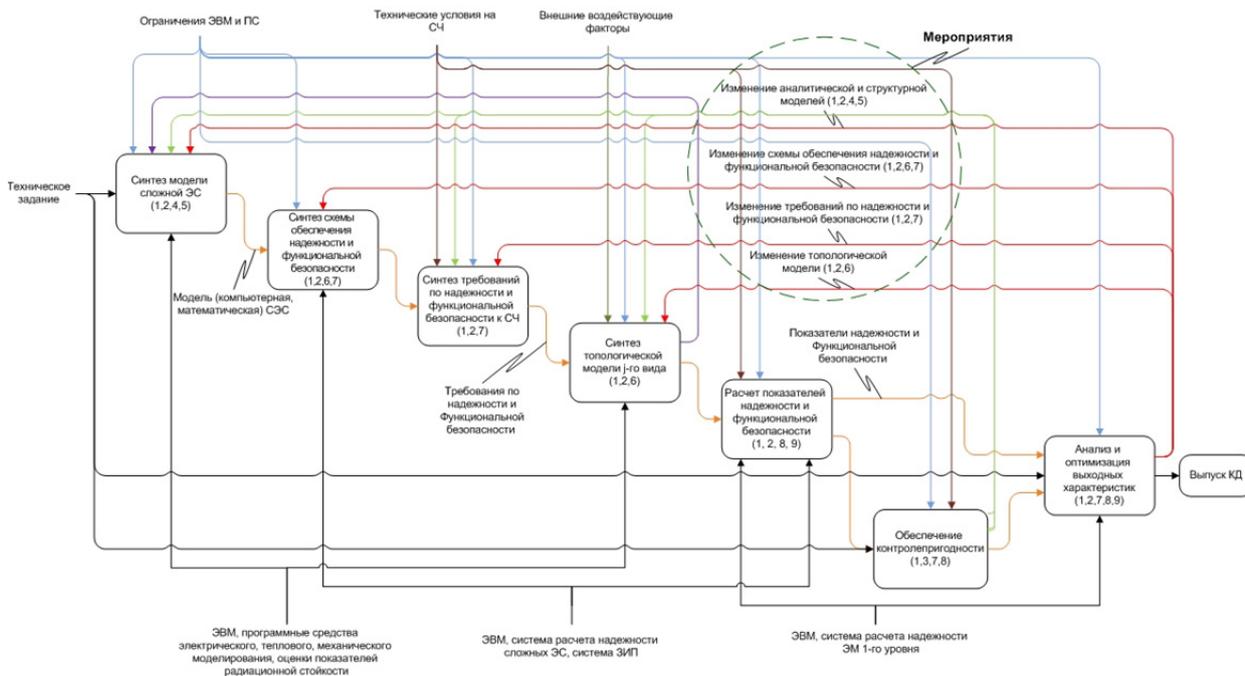


Рис. 1. Функциональная модель процесса применения методов математического моделирования при проектировании СЭС:

- 1 – методы управления проектами; 2 – методы управления документооборотом (данными);
- 3 – методы принятия проектных решений; 4–6 – методы синтеза математических моделей (аналитических, структурных и топологических) СЭС и СЧ; 7 – методы моделирования отказов (СЭС, СЧ и ЭРИ);
- 8 – методы анализа физических процессов (электрических, тепловых и т.д.) и геометрического проектирования (компоновки, размещения, трассировки);
- 9 – методы параметрической оптимизации и идентификации (скалярной и векторной)

Введение на рис. 1 задач моделирования физических процессов обусловлено не только тем, что результаты анализа этих моделей (режимы работы ЭРИ, уровни внешних воздействующих факторов и др.) используются в блоках А3, А4 и А7 при решении задач, связанных с обеспечением надежности СЭС, но и тем, что развитие методов решения таких задач послужило одной из главных причин создания информационных технологий (ИТ) обеспечения показателей надежности СЭС.

При проектировании СЭС решение задач расчета показателей надежности (как и расчета любых других характеристик) регламентируется инженерными методиками (см., например, [4–6]), которые представляются в виде стандартов предприятий (а в системах менеджмента качества (СМК) – документированных процедур). Другими словами, методики представляют собой описание операций процессов СМК. Несмотря на то, что процесс проектирования СЭС представляет собой итерационный процесс, что является принципиальным отличием его от технологических процессов производства, в соответствии с рекомендациями ISO 9001 процесс проектирования должен рассматриваться как технологический процесс.

С этой точки зрения ЭП и ТП представляют собой технологические процессы синтеза информационной модели СЭС (комплекта конструкторской документации), а совокупность ис-

ходной информации (исходных материалов), инженерных методик (оборудования), проектных задач (операций), а также последовательность их выполнения составляют технологию проектирования. Если при выполнении каждой операции решаются задачи обеспечения надежности, то такая технология является надежно-ориентированной. В качестве примера такой технологии можно привести методы, приведенные в [6]. Другим важным аспектом процесса применения методов математического моделирования при проектировании СЭС является не только обмен данными между моделями различного вида, но и создание информационной модели СЭС (виртуального макета) [7].

Поэтому основой для создания ИТ обеспечения надежности СЭС послужили требования и рекомендации международных стандартов в области качества (ISO серии 9000) и обеспечения функциональной безопасности (МЭК 61508), CALS-технологий (ISO серии 10303), Российских военных стандартов (КГВС «Мороз-6» и «Климат-7»). Разработанная технология базируется на мероприятиях ПОНр [1], которые были существенно переработаны и интегрированы в инфраструктуру ИПИ-технологий. Функциональная модель ИТ обеспечения надежности и функциональной безопасности СЭС приведена на рис. 2.

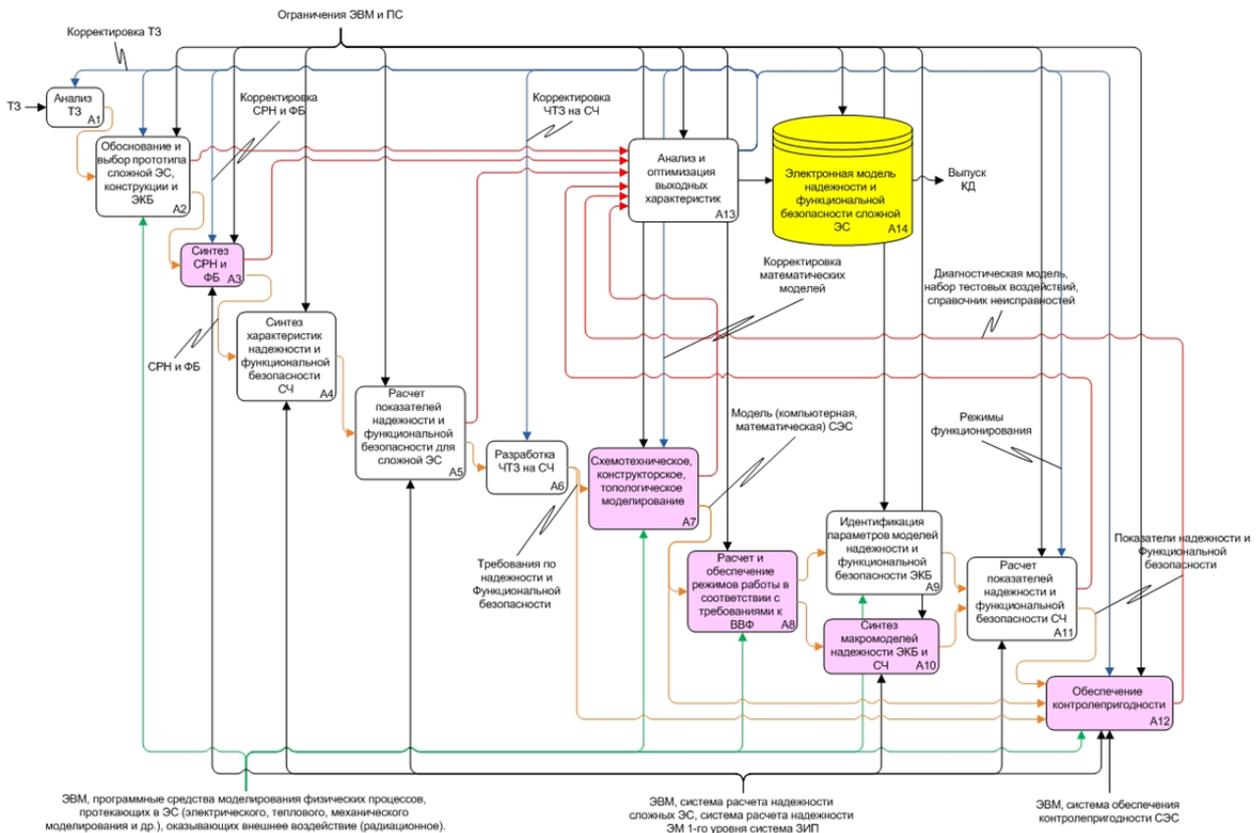


Рис. 2. Функциональная модель ИТ обеспечения функциональной безопасности СЭС

Главным отличием операций технологии, приведенной на рис. 2, от мероприятий ПОНр является то, что каждая операция заканчивается расчетом надежности, а итоговой операцией является проведение оценки контролепригодности как одного из важных факторов выпуска качественной продукции.

Именно эти результаты служат основным критерием оценки качества проектных решений и являются составной частью общей ИТ СЭС. Как видно из рис. 2, ИТ представляет собой последовательность операций над электронной (виртуальной) моделью СЭС («А13: Электронная модель надежности и функциональной безопасности сложной ЭС»), выполнение которых регламентируется соответствующими методиками, как общеинженерными («А1: Анализ ТЗ», «А2: Обоснование и выбор прототипа сложной ЭС, конструкции и ЭКБ»), «А7: Схемотехническое конструктор-

ское, топологическое моделирование», «А6: Разработка ЧТЗ на СЧ»), так и специально разработанными для реализации данной технологии, а именно:

- методиками автоматизированного расчета и обеспечения надежности электронной компонентной базы (ЭКБ), электронных модулей (ЭМ) и СЭС в целом (блоки А4, А5, А9, А10, А11);
- методиками автоматизированного анализа результатов расчетов надежности ЭКБ, ЭМ и ЭС в целом (блок А13);
- методиками информационной поддержки расчетов надежности;
- методиками идентификации параметров моделей надежности ЭКБ (блок А9);
- методиками идентификации параметров макромоделей надежности ЭМ (блок А10);
- методиками мониторинга справочной информации о характеристиках надежности ЭКБ (блок А4);
- методиками исследования влияния внешних механических воздействий на уровень надежности конструкций СЭС (блок А7);
- методикой уточнения влияния изменения теплового режима на уровень надежности СЭС (блок А7);
- методикой автоматизированной оценки суммарной накопленной дозы ионизированного излучения (ИИ) космического пространства (КП) и частоты сбоев СЭС (блок А7);
- методики сопровождения проектной информации (исходных данных и результатов расчетов надежности ЭКБ, ЭМ и ЭС в целом) – блок А3;
- методикой обеспечения контролепригодности СЭС (блок 12).

В методиках автоматизированного теплового, механического, радиационного моделирования, а также в расчетах надежности ЭКБ, ЭМ и СЭС реализованы как известные модели и методы, так и авторские разработки, учитывающие специфику расчетов надежности сложных ЭС.

Другой важной особенностью технологии является то, что основной объем работ по анализу и обеспечению надежности выполняется в блоках А5 и А11 (см. рис. 2), а не на заключительном этапе проектирования, как принято в традиционной технологии, рекомендованной в РД В 319.01.10-98 [3]. Комплексный подход, основанный на моделировании разнородных физических процессов, и расчет показателей надежности СЭС позволяет обеспечивать контролепригодность на ранних этапах проектирования (блок А12).

Очевидно, что трудоемкость работ по оценке и обеспечению надежности СЭС во много раз ниже, чем трудоемкость работ по оценке и обеспечению надежности СЧ (схема расчета надежности СЭС может содержать до нескольких сотен СЧ, в то время как количество ЭРИ может достигать десятков и сотен тысяч [8]).

Отсюда можно сделать принципиальный вывод о том, что специалисты отделов надежности должны решать задачи, сформулированные в блоках А3, А4, А5 и А8, а задачи обеспечения требований по надежности к конкретной СЧ – ее непосредственные разработчики (схемотехники и конструктора) – блоки А9, А10, А11 и А13. Только в этом случае можно избежать многочисленных доработок СЭС по результатам испытаний опытных образцов и обеспечить выполнение процедур системы качества в соответствии с требованиями [1, 3, 9]. Однако для того, чтобы возложить эти обязанности на плечи проектировщиков ЭС, необходимо предоставить им средства автоматизации для решения задач обеспечения показателей надежности, т.е. создать программные средства (ПС) нового поколения, основанные на использовании широких возможностей сетевых и информационных технологий.

С целью конкретизации требований к таким ПС предложена концепция реализации непрерывной информационной поддержки ПОН в части расчета показателей надежности СЭС, основными положениями которой являются [7, 10]:

- объединение пользователей по информационному, а не по территориальному признаку (установка ПС в локальной или глобальной сети позволяет проводить расчеты надежности как одного СЭС с разных рабочих станций, так и различных СЭС с одной рабочей станции);
- электронный обмен данными (конверторы данных форматов промышленных САПР и АСПИ, формирование протоколов работы в электронном виде);
- мониторинг информации о характеристиках надежности ЭКБ;
- непрерывная поддержка процесса обеспечения надежности (расчет предельно-допустимых режимов работы, числа резервных СЧ и т.д.);

– непрерывная поддержка оказания помощи пользователю («горячая линия», *Internet*-представительство, контекстная справка и т.д.);

– непрерывная поддержка информации о характеристиках надежности ЭРИ как иностранного производства, так и отечественного (время модификации интерфейса пользователя и баз данных в части математических моделей эксплуатационной интенсивности отказов, численных значений коэффициентов и т.д. не должно превышать 1–2 дней после появления результатов мониторинга);

– непрерывная поддержка процесса расчета надежности (автоматический перерасчет при любом изменении схемы расчета надежности и отображение результатов в окне интерфейса пользователя).

Внедрение технологии на ряде промышленных предприятий оборонного комплекса позволило для вновь разрабатываемых СЭС обеспечить требуемые уровни надежности и существенно повысить показатели надежности при модификации ранее созданной СЭС ответственного назначения [11–13].

Список литературы

1. Основы теории надежности электронных средств : учеб. пособие / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 100 с.
2. ГОСТ Р В 20.39.302-98. КСОТТ. Требования к программам обеспечения надежности и стойкости к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений.
3. Затылкин, А. В. Алгоритм проведения проектных исследований радиотехнических устройств опытно-теоретическим методом / А. В. Затылкин, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков // Надежность и качество: тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 305–316.
4. Лысенко, А. В. Анализ современных систем управления проектами / А. В. Лысенко // Надежность и качество: тр. междунар. симп. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 1. – С. 371–372.
5. ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 2. Требования к системам.
6. РД В 319.01.10-98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методы надежность-ориентированного проектирования и изготовления РЭА.
7. РД В 319.01.16-98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Типовые методики оценки показателей безотказности и ремонтпригодности расчетно-экспериментальными методами.
8. РД В 319.01.19-98. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методика оценки и расчета запасов в комплексах ЗИП.
9. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.
10. Полесский, С. Н. Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем / С. Н. Полесский, В. В. Жаднов, А. Е. Абрамшин // Екатеринбург : ООО«Форт Диалог-Исеть», 2012. – 565 с.
11. Полесский, С.Н. Автоматизация проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры / С. Н. Полесский, В. В. Жаднов, Ю. Н. Кофанов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2003. – 156 с.
12. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения.
13. Жаднов, В. В. Технология надежность-ориентированного проектирования / В. В. Жаднов // Электронные компоненты. – 2002. – № 8. – С. 28–30.

УДК 62-192

Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75–79.

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 56-43-46
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical science, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Затылкин Александр Валентинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-82-12
E-mail: al.zatylkin@yandex.ru

Полесский Сергей Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий
и автоматизированных систем,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3)
(495) 916-88-80
E-mail: spolessky@hse.ru

Иванов Илья Александрович

кандидат технических наук, старший преподаватель,
кафедра радиоэлектроники и телекоммуникаций,
Московский институт электроники и математики
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»
(109028, Россия, г. Москва,
Б. Трехсвятительский пер., 3)
(495) 916-88-80
E-mail: snp@mail.ru

Лысенко Алексей Владимирович

аспирант,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
(8412) 36-82-12
E-mail: lysrenko7891@rambler.ru

Аннотация. Приведена функциональная модель процесса применения методов математического моделирования, отражающая последовательность решения задач при проектировании сложных электронных систем. Разработана функциональная модель информационными технологиями обеспечения надежности сложных электронных систем. Показаны основные положения концепции реализации непрерывной информационной поддержки программы обеспечения надежности в части расчета показателей надежности сложных электронных систем с целью конкретизации требований программных средств.

Ключевые слова: надежность, проектирование, информационная технология, сложная электронная система, электронный модуль, математическое моделирование, контролепригодность.

Zatylkin Alexander Valentinovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Polesskiy Sergey Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies
and automated systems,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
(109028, 3 B. Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia)

Ivanov Ilya Aleksandrovich

candidate of technical sciences, senior lecturer,
sub-department of electronics and telecommunications,
Moscow institute of electronic and mathematic
of National Research University
«High School of Economics»
(109028, 3 B. Trekhsvyatitel'skiy lane, Moscow, Russia)

Lysenko Aleksey Vladimirovich

postgraduate student,
sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. The functional model of the application of mathematical modeling, reflecting the sequence of solving problems in the design of complex electronic systems. Developed a functional model of information technology to ensure the reliability of complex electronic systems. Showing the basic concept of implementing continuous information support program to ensure the reliability of the calculation of the indicators of reliability of complex electronic systems for the purpose of specifying the requirements of software.

Keywords: reliability, engineering, information technology, sophisticated electronic system, electronic control module, mathematical modeling, testability.

Вниманию авторов!

Редакция научно-практического журнала «Надежность и качество сложных систем» приглашает ученых и специалистов опубликовать оригинальные статьи, содержащие новые научные и практические результаты в области фундаментальных и прикладных исследований проблем обеспечения надежности и качества сложных как технических, так и эргономических систем по следующей тематике:

- фундаментальные основы обеспечения безопасности, надежности и качества;
- физико-математические методы и модели обеспечения надежности и качества сложных систем;
- информационная безопасность сложных систем;
- технологические основы повышения надежности и качества изделий;
- информационные технологии в проектировании, производстве, испытаниях и сертификации высоконадежных систем;
- надежность биологических и экологических систем и приборов;
- диагностические методы обеспечения надежности и качества сложных систем;
- моделирование и управление в эргономических системах;
- менеджмент качества предприятий и организаций.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редакцией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий не выше 2003.

Необходимо представить статью в электронном виде (kipra@pnzgu.ru, дискета 3,5», CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи – 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt, через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF.

Статья **обязательно** должна сопровождаться индексом УДК, краткой аннотацией и ключевыми словами **на русском и английском языках**.

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft Word Equation, версии 3.0 и ниже. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

Редакция