

УДК 519.873(045)

Л. Н. Щербак, д-р техн. наук

АКСИОМЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Национальный авиационный университет, e-mail: prof_Scherbak@ukr.net

Сформулированы две основные научно-технические проблемы теории надежности, предложена система аксиом для систематизации и классификации разнообразных задач исследования надежности технических систем.

Ключевые слова: надежность, объект, жизненный цикл, характеристики надежности, аксиомы.

Введение. Научно-технические проблемы исследований надежности технических систем продолжают быть актуальными и на современном информационном этапе развития науки и техники, а результаты исследований надежности, полученные на предыдущем индустриальном этапе развития, являются их фундаментом. Отметим наиболее существенные факторы, которые обуславливают актуальность проблематики надежности в настоящее время.

Значительное количество технических систем, действующих в энергетике, транспорте и в других отраслях народного хозяйства страны, уже заканчивает или уже закончило выработку своего технического ресурса. Это требует оценки их реального остаточного ресурса работоспособности и разработки методов его увеличения путем проведения процессов восстановления, ремонта и модернизации. Ситуация в данном случае очень критическая, поскольку альтернативы замены значительной части действующих технических систем новыми не существует из-за наличия различных причин, включая временные, производственные, экономические, социальные и др.

Современные сложные технические системы являются аппаратно-программными комплексами (АПК). Принято условно АПК делить на аппаратную и информационную подсистемы. В информационную подсистему входит так называемое «мягкое оборудование», которое включает в себя информационное обеспечение: физические и математические модели функционирования для выполнения требуемых функций, алгоритмическое и программное обеспечения. Известно, что результаты исследования надежности аппаратной подсистемы накапливались в течение второй половины XX и начала XXI ст. и для нее создана большая база расчетных и эксплуатационных характеристик надежности. Задачи надежности информационной подсистемы менее исследованы, а еще менее исследованы характеристики надежности в целом АПК как результат взаимодействия аппаратной и информационной подсистем.

Развитие технических средств, широкое использование средств вычислительной техники, внедрение информационных технологий увеличивают потенциальные возможности современных технических систем различной сложности, включая АПК как более надежных систем. Однако для реализации таких потенциальных возможностей необходимо использовать результаты решения многих научно-технических задач. Поэтому заслуживает внимания использование возможностей информационных систем, которые, по сравнению с аппаратными, могут быть в большей мере адаптированы к изменениям их условий применения.

В данной работе рассматриваются вопросы теории надежности. В теории надежности широко используются методы естественных и технических наук, различных отраслей науки и техники при решении множества разнообразных задач надежности [1–3, 5–7]. Такое разнообразие применений для исследований надежности технических систем ставит под сомнение существование надежности как самостоятельной науки.

Известно, что большинство наук имеют отличительные признаки, которые, с одной стороны, выделяют конкретную науку среди других, а с другой – играют весомую роль при

проведении исследований направлений этой науки. Например для:

- химии – периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева;
- геометрии – аксиомы (постулаты) Эвклида;
- электродинамики – уравнения Максвелла;
- теории вероятностей – аксиомы А. Н. Колмогорова;
- распространения упругих колебаний в физических средах – волновые уравнения.

Можно привести и другие примеры таких отличительных признаков при определении наук.

В теории надежности в качестве отличительных признаков могут служить характеристики надежности технических систем, однако единой методологии их определения не существует. Количество характеристик надежности по мере усложнения технических систем растет, так, например, в последнее время опубликованы результаты анализа метрологической надежности измерительных средств. Данная работа предлагает создания отличительного признака теории надежности в виде системы аксиом.

Постановка задания. Предложить вариант системы аксиом теории надежности с целью ее конструктивного применения для множества разнообразных задач исследований надежности технических систем и создания логически стройной структуры классификации задач исследований.

Работа носит дискуссионный характер, поскольку система аксиом теории надежности предложена впервые. Эта работа является продолжением публикации [8], в которой приведены обоснования основ надежности технических систем как науки.

Сначала остановимся на некоторых определениях и терминологии, которую будем использовать.

Объектом будем именовать технические системы различной сложности на всех этапах их жизненного цикла.

Определение 1. *Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [4].*

Из этого определения следует, что при проектировании и изготовлении объекта необходимо заложить выполнение ряда свойств, таких, например, как обеспечение стабильности параметров элементов во времени при хранении, транспортировке, эксплуатации. Сама же надежность объекта как основное свойство проявляется только во время эксплуатации в заданных условиях применения, частично – во время проведения испытаний, т. е. при реализации определенного комплекса условий и состоит в выполнении последовательности n требуемых функций в заданных режимах.

Информационное обеспечение. Рассмотрим обеспечение такого вида более подробно, так как информационное обеспечение исследований объектов на надежность по сути является одним из основных. Определение «информационное обеспечение» трудно формализовать, поскольку состоит из большого количества разнообразных компонент. Рассмотрим роль и место информационного обеспечения исследований объекта на надежность на всех этапах его жизненного цикла, используя упрощенные функциональные схемы, приведенные на рис. 1 – 3.

Сначала рассмотрим роль информационного обеспечения при создании объекта исследований на надежность, используя приведенную на рис. 1 схему.

В состав информационного обеспечения при создании объекта входят разнообразные компоненты, в том числе:

- физические и математические модели, которые гомоморфно отображают функционирование объекта при выполнении последовательности n требуемой функций при

заданных режимах работы во времени и пространстве, учитывают условия применения объекта;

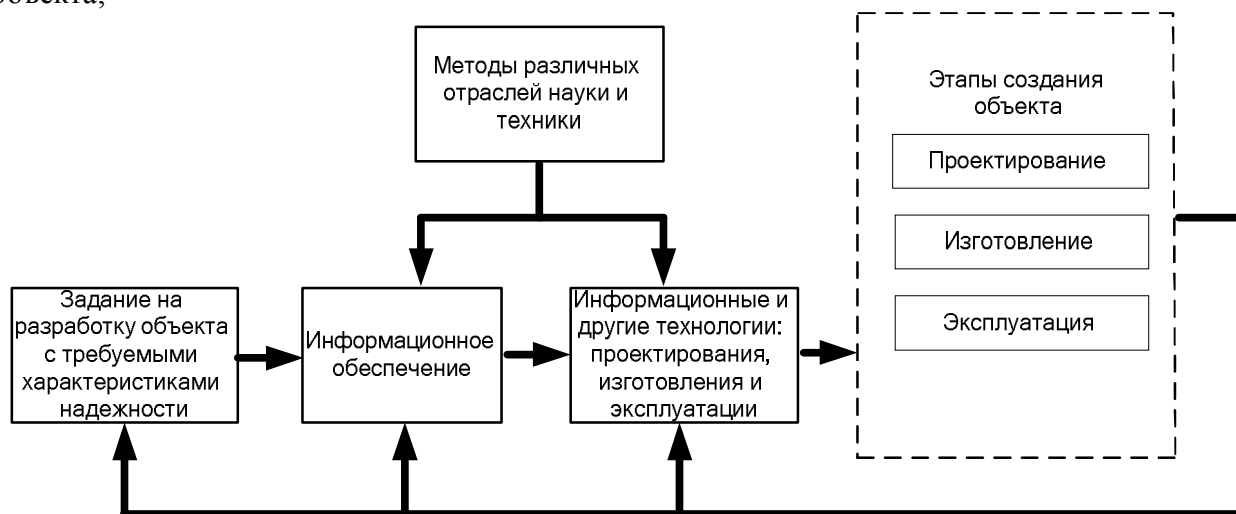


Рис. 1. Схема использования информационного обеспечения на основных этапах жизненного цикла объекта

– базы данных расчетных и эксплуатационных параметров, характеристик, включая характеристики надежности технических устройств, модулей, подсистем, которые используются при создании объекта и др.;

– базы данных испытаний, измерений, контроля и диагностики при эксплуатации, результатов их обработки и др.;

– алгоритмическое обеспечение работы различных подсистем объекта:

а) автоматического проектирования;

б) статистической обработки данных измерений, контроля и диагностики;

в) автоматического управления режимами функционирования объекта;

г) системы диалогового управления «объект-оператор» и др.;

– программное обеспечение реализации математического и алгоритмического обеспечений, включая вычислительные задачи компьютерного моделирования различных вариантов структуры создаваемого объекта и др.

Информационное обеспечение исследований объекта на надежность в данной работе рассматривается в самом широком смысле на всех этапах жизненного цикла объекта. Естественно, что такое обеспечение является частью общего информационного обеспечения объекта. Однако эта часть является основой общего и четкого разделения провести не удастся, поскольку надежность объекта определяется всеми без исключения его составными элементами, компонентами и модулями.

Схема, показанная на рис. 2, отображает динамику интегрального накопления информационного обеспечения, его корректировку, изменение по мере поступления новой информации при реализации последовательности этапов жизненного цикла объекта.

Выделены три вида информационного обеспечения (ИО):

– информационное обеспечение ИОІ – имеет также название *априорного* обеспечения, поскольку включает в основном априорные данные о функционировании элементов, компонент и модулей по их потенциальным характеристикам, включая характеристики надежности, а также результаты компьютерного моделирования;

– информационное обеспечение ИОІІ – также называют *апостериорным* обеспечением, так как включает результаты ИОІ и результаты эксплуатации, испытаний;

– информационное обеспечение ИОІІІ – включает в себя предыдущие ИОІ и ИОІІ, а также результаты обработки в основном статистической, реальных данных измерений,

контроля и диагностики, что дает возможность осуществлять текущее управление функционированием объекта как в автоматическом режиме, так и в диалоговом режиме управления «оператор–объект», а также реализовывать программу повышения надежности, включая реализацию процессов восстановления, ремонта, модернизации и обслуживания.

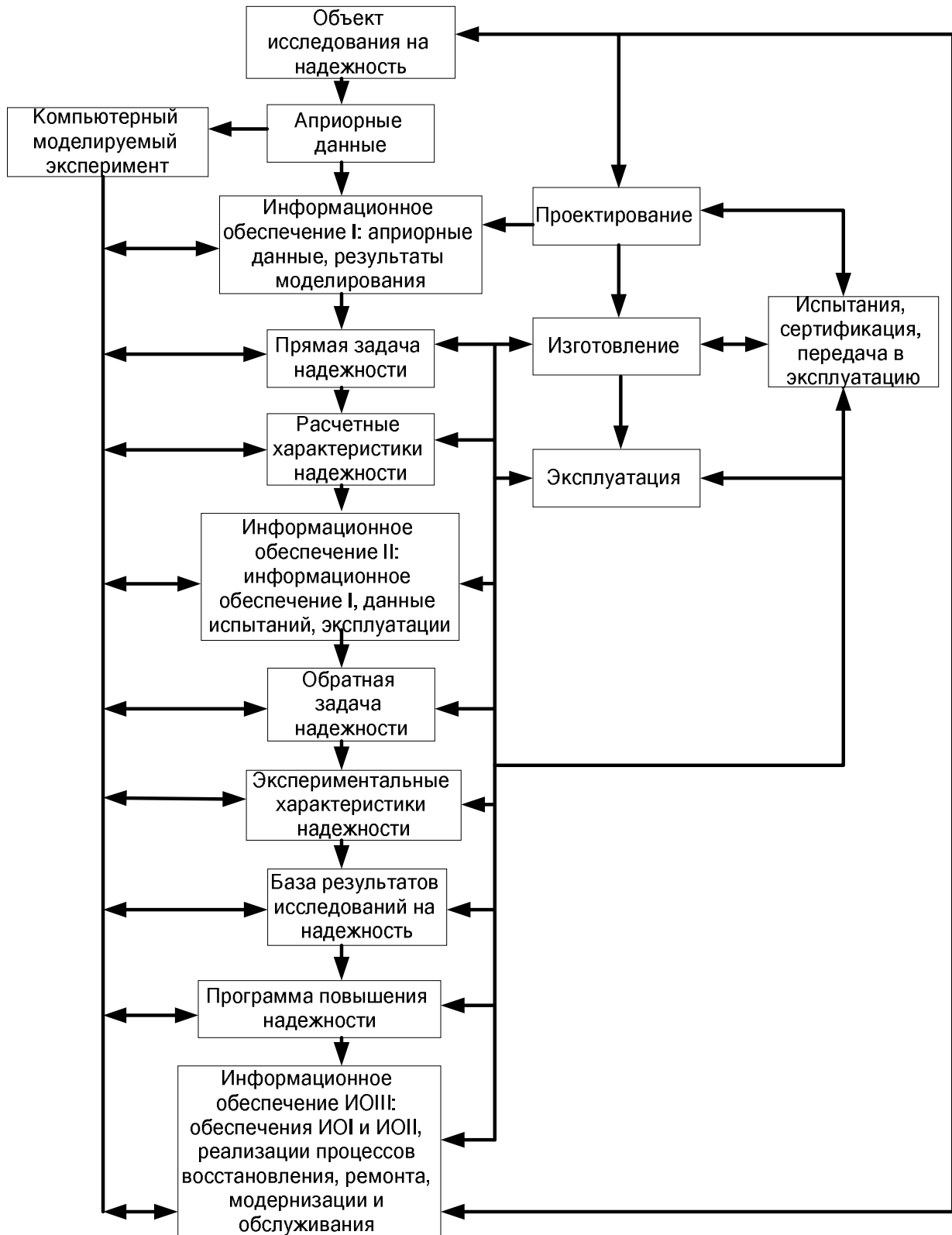


Рис. 2. Схема динамики накопления информационного обеспечения объекта на этапах его жизненного цикла

Априорное информационное обеспечение дает возможность определить расчетные характеристики надежности объекта (прямая задача надежности), а апостериорное – экспериментальные (статистически обоснованные) характеристики надежности объекта (обратная задача надежности).

Схема, показанная на рис. 3, отображает реализацию информационного обеспечения (ИОИ) при эксплуатации объекта с целью управления текущим функционированием, реализации программы повышения его надежности, т. е. обеспечения более длительного срока работоспособности объекта.

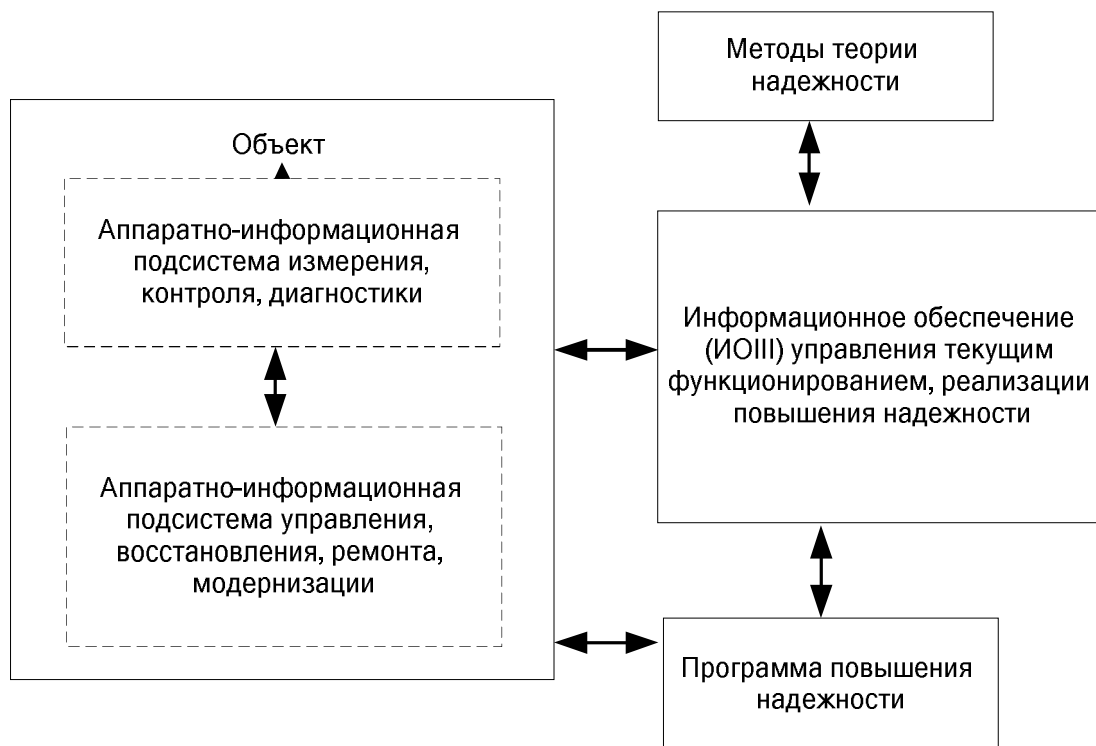


Рис. 3. Схема использования информационного обеспечения на этапе эксплуатации объекта

Приведенные материалы о роли и содержании информационного обеспечения отображают общий подход к такому сложному информационному продукту, его информационному ресурсу. Следует также отметить, что учитывая весомую роль информационного обеспечения при исследованиях функционирования, в том числе и на надежность, целесообразно переименовать аппаратно-программные комплексы в аппаратно-информационные комплексы.

Информационный сигнал является физическим носителем информационного обеспечения. Результатом действия информационных сигналов являются базы данных измерений, контроля и диагностики результаты обработки, протоколы испытаний, проектная и рабочая документация и т. д.

Носителями информационного обеспечения могут быть электромагнитные, электрические, вибрационные, акустические, сейсмические и другие сигналы. Для их описания используются математические модели детерминированных и случайных функций, как одномерные, так и многомерные. Примерами моделей, которые используются в теории надежности, являются:

– случайное поле $\xi(\omega; \vec{r}; t)$, $\omega \in \Omega$, $t \in T$, $\vec{r} = (x, y, z) \in Q$, где ω – элементарное событие из пространства элементарных событий $\omega \in \Omega$, $t \in T$ – время, заданное на интервале T , а Q – заданная пространственная область;

- случайный процесс $\xi(\omega, t)$, $\omega \in \Omega$, $t \in T$ как сечение случайного поля с фиксированными пространственными координатами;
- случайная величина $\xi(\omega)$ как сечение случайного процесса в фиксированный момент времени;
- периодические и почти периодические детерминированные функции, а в ряде случаев и периодические случайные процессы;
- детерминированный сигнал с амплитудной и угловой модуляцией вида $A(t) \cos \Phi(t)$ и др.

Весомая часть информационных сигналов представляет собой временные ряды, полученные дискретизацией по времени, квантованием по уровню непрерывных (аналоговых) сигналов и кодированные в большинстве случаев в двоичной системе счисления. Такие сигналы именуется также цифровыми.

Выполнение объектом n требуемых функций определяется конкретным назначением объекта, при этом определяется как количество n , так и характер выполнения этих функций. Можно привести пример такого объекта, как электростанция, которая должна обеспечить:

- выработку требуемого количества электроэнергии;
- требуемые характеристики качества электроэнергии;
- безопасность обслуживающего персонала и другие.

Поэтому так называемые характеристики «метрологической надежности» или другого вида, например характеристики «надежности защиты информации», входят в выполняемую объектом заданную последовательность n требуемых функций.

Основные результаты. В теории надежности исследуются различные научно-технические проблемы [1 – 8]. Однако среди них можно выделить две основные, одна из которых решается на этапах проектирования и изготовления объекта, а вторая – на этапе его эксплуатации. Сформулируем эти проблемы.

Проблемы теории надежности:

1. *Разработать априорное информационное обеспечение требуемых характеристик надежности создаваемого объекта и реализовать его в информационных и других технологиях проектирования и изготовления серийных образцов объекта с последующей передачей их в эксплуатацию с расчетными характеристиками надежности.*

2. *При эксплуатации объекта обеспечить контроль выполнения объектом последовательности n требуемых функций в заданных режимах и условиях применения по данным информационных сигналов измерений, контроля, диагностики и на основании использования апостериорного информационного обеспечения реализовать управление процессом текущего функционирования объекта и выполнение программы повышения надежности с целью более длительного временного интервала эксплуатации объекта.*

Система аксиом теории надежности. Ниже приведем вариант системы аксиом теории надежности. Важным при формулировке аксиом было решение вопроса, какой подход формализации проблем теории надежности необходимо использовать. В предложенном варианте использован функциональный подход определения надежности (определение 1), приведенного в государственном стандарте. На основе использования значительного количества результатов исследований объектов на надежность, полученных при их создании и эксплуатации [1 – 7], систему аксиом можно сформулировать в следующей редакции.

Аксиома 1. *Объект обеспечивает выполнение j -й ($j = \overline{1, n}$) требуемой функции из заданной последовательности n требуемых функций во времени и в пространстве при*

реализации определенного комплекса условий, если изменения значений и характеристик информационного сигнала, который гомоморфно отображает выполнение j -й функции объектом при различных режимах его работы, находятся в установленных пределах. Анализ изменений значений и характеристик информационного сигнала производится по результатам одного из вариантов:

а) проведение вычислений, в том числе компьютерного моделирования с использованием математической модели сигнала;

б) обработки реальных данных измерений и контроля, значений и характеристик сигнала;

в) выполнение вариантов а) и б), а также проведения сравнительного анализа их результатов.

Аксиома 2. Объект является работоспособным (обеспечивает безотказную работу) на определенных временном интервале и пространственной области, если объект при этом выполняет последовательность n требуемых функций в заданных режимах и условиях применения, а выполнение каждой из них удовлетворяет условиям аксиомы 1.

Аксиома 3. Количественные или нормированные меры выполнения объектом одной, нескольких или всей заданной последовательности n требуемых функций, являются характеристиками надежности как функции времени. Определение характеристик надежности производится на основании анализа результатов выполнения одного из вариантов а) или б), или в), указанных в аксиоме 1. Основной интегральной характеристикой надежности объекта является количественная мера – длина временного интервала работоспособности (эксплуатации) объекта.

Аксиома 4. Объект не обеспечивает работоспособность, начиная с некоторого фиксированного момента времени, если при реализации определенного комплекса условий применения объекта происходит событие (разладка) следующего вида:

г) отказ в узком смысле при невыполнении объектом, начиная с указанного выше момента времени, одной из заданной последовательности n требуемых функций;

д) отказ в широком смысле при невыполнении объектом, начиная с указанного выше момента времени, одной или нескольких функций из заданной последовательности n требуемых функций.

Определения временных моментов отказов работоспособности объекта типа г) или д) производится на основании анализа результатов вариантов а) или б), или в), указанных в аксиоме 1.

Предложенная система аксиом является непротиворечивой и неполной:

– непротиворечивой, потому что реальные объекты – технические системы удовлетворяют указанным аксиомам;

– неполной, поскольку указанные аксиомы могут быть использованы на различных этапах жизненного цикла объекта, например, на этапах проектирования и эксплуатации и получить при этом несовпадающие результаты исследований, которые затем необходимо согласовать.

Кроме того, при применении системы аксиом можно формировать различные варианты постановок задач исследований надежности одного и того же объекта.

Относительно независимости использования аксиом необходимо отметить следующее. В аксиоме 1 сформулированы все условия реализации всех последующих аксиом. Поэтому комбинации каждой из аксиом 2 или 3, или 4 вместе с аксиомой 1 могут быть использованы независимо друг от друга.

Выводы. На основании анализа известных результатов исследований надежности технических систем (объектов) сформулированы две основные научно-технические проблемы надежности, первая из которых состоит в проектировании и изготовлении объекта

с требуемыми расчетными характеристиками надежности, а вторая – обеспечить реализацию выполнения требуемых функций на этапе эксплуатации объекта. Приведена система аксиом теории надежности с целью систематизации и классификации разнообразных задач исследования надежности объектов на этапах их жизненного цикла.

Список литературы

1. *Азарсков В. Н.* Надежность систем управления и автоматики: учеб. пособие / В. Н. Азарсков, В. П. Стрельников – К.: НАУ. – 2004. – 164 с.
2. *Барлоу Р.* Математическая теория надежности. пер. с англ.; под. ред. Б. В. Гнеденко / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Изд-во «Сов. радио». – 1969. – 488 с.
3. *Гнеденко Б. В.* Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Изд-во «Наука». – 1965. – 526 с.
4. *ГОСТ 27.002–89.* Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов. – 1998. – 36 с.
5. *Надежность и эффективность в технике: справ.:* в 10 т. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / под ред. А. И. Рембезы. – М.: Машиностроение. – 1986. – 224 с.
6. *Половко А. М.* Основы теории надежности / А. М. Половко – М.: Наука. – 1964. – 448 с.
7. *Черкесов Г. Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб. пособие / Г. Н. Черкесов – СПб.: Питер. – 2005. – 479 с.
8. *Щербак Л. Н.* Основы надежности технических систем как наука // Електроніка та системи управління. / Л. Н. Щербак – 2011. – №2 (28). – С. 153–160.

Л. М. Щербак

Аксиоми теорії надійності

Сформульовано дві основні науково-технічні проблеми теорії надійності, запропоновано систему аксіом для систематизації і класифікації різноманітних завдань дослідження надійності технічних систем.

L.M. Scherbak

Axioms reliability

Formulated two major scientific and technological problems of reliability theory, proposed a system of axioms for the systematization and classification of various research problems of reliability of technical systems.